

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки 15.03.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Виброгаситель с квазинулевой жесткостью

УДК 62-752

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4А6В	Кузнецов Максим Алексеевич		05.06.2020

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШНПТ	Гаврилин А.Н.	К.Т.Н.		05.06.2020

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ИШНПТ	Кувшинов К.А.			05.06.2020

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	К.Т.Н., доцент		05.06.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.			05.06.2020

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Ефременков Е.А.	К.Т.Н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Вый про	Результат обучения*
Общие по направлению подготовки (специальности)	
Р1	Способность применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире; умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в машиностроении, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования машиностроительной и сварочной продукции.
Р2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.
Р3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.
Р4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
Р5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на машиностроительных и строительно-монтажных производствах.
Р6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать

	самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на предприятиях машиностроительного, строительно-монтажного комплекса и в отраслевых научных организациях, участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований
P7	Умение проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения и сварочного производства
P8	Умение применять стандартные методы расчета деталей и узлов машиностроительных изделий и конструкций, выполнять проектно-конструкторские работы, составлять и оформлять проектную и технологическую документацию соответственно стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.
Профиль 2 (Конструкторско-технологическое обеспечение автоматизированных машиностроительных производств)	
P10	Способность осваивать вводимое новое оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования и конструкций строительно-монтажных объектов, в случае необходимости обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа ИШНПТ

Направление подготовки (специальность) 15.03.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Ефременков Е.А.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4А6В	Кузнецову Максиму Алексеевичу

Тема работы:

Виброгаситель с квазиулевым жесткостью	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020 №59-67/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования: виброгаситель с квазиулевым жесткостью.
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Литературный обзор виброзащитных систем: классификация, типовые схемы, сравнительный анализ, разработка виброгасителя и гидравлической схемы для работы устройства; создание 3D модели; составление технологического процесса изготовления детали конструкции; подбор режимов резания; подбор оборудования; нормирование; разработка раздела финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения; разработка раздела социальной ответственности; заключение по работе.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация 20 листов</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кашук Ирина Вадимовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина Мария Сергеевна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>16.12.19</p>
--	-----------------

Задание выдал руководитель и консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШНПТ	Гаврилин А.Н.	к.т.н.		16.12.19
Ст. преподаватель ИШНПТ	Кувшинов К.А.			16.12.19

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4А6В	Кузнецов Максим Алексеевич		16.12.19

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 134 с., 41 рис., 35 таблиц, 28 источников, 6 приложений.

Ключевые слова: вибрация, виброзащитная система, демпфирование, виброзащитное устройство, квазинулевая жесткость.

Объектом исследования является виброгаситель с квазинулевой жесткостью.

Цель работы – исследование виброзащитных устройств для демпфирования колебаний, а также разработка технологии изготовления детали типа «корпус».

В процессе работы произведен литературный обзор и выполнен сравнительный анализ различных видов виброзащитных систем, разработан технологический маршрут детали типа «корпус» с расчетом технологических размеров, режимов резания, оборудования.

В результате работы выявлены основные преимущества и недостатки существующих виброзащитных систем, представлена схема виброзащитного устройства с гидравлическим управлением, создана 3D модель виброгасителя с квазинулевой жесткостью.

Область применения: защита от вибрации объекта виброзащиты, путем демпфирования колебаний, возникающих от источника вибрации.

Экономическая эффективность/значимость работы: широкий диапазон демпфируемых колебаний, а также демпфирование колебаний от усилия, возникающего под некоторым углом; малые габариты устройства; нелинейная жесткость;

Оглавление

Введение	9
1 Конструкторская часть.....	14
1.1 Обзор конструкций.....	14
1.1.1 Пружинный виброизолятор с демпфером в маятниковом подвесе	14
1.1.2 Динамический гаситель.....	16
1.1.3 Виброизолятор технологического оборудования	18
1.1.4 Рукоятка пневматического отбойного молотка	21
1.1.5 Виброзащитные системы с квазиулевым жесткостью	24
1.2 Предлагаемая конструкция	27
1.3 Расчет элементов конструкции.....	32
1.4 Характеристики	35
1.5 3D модель виброгасителя с квазиулевым жесткостью.....	37
2 Технологическая часть.....	42
2.1 Техническое задание	43
2.2 Анализ технологичности детали	43
2.3 Технологический маршрут изготовления детали	45
2.4 Определение допусков на технологические диаметральных размеры	48
2.5 Определение минимальных припусков на обработку поверхностей вращения.....	48
2.7 Расчет диаметральных технологических размеров	49
2.8 Определение допусков на технологические продольные размеры	57
2.9 Определение минимальных припусков на обработку плоскостей	58
2.10 Расчет продольных технологических размеров.....	59
2.11 Выбор режущего инструмента и расчет режимов резания	64
2.12 Выбор оборудования	79
2.13 Нормирование.....	83
3 «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	87
3.1 Анализ конкурентных технических решений.....	88

3.2 SWOT-анализ	90
3.3 Планирование научно-исследовательских работ	92
3.4 Разработка графика проведения проектирования	94
3.5 Цели и результат исследования	98
3.6 Бюджет исследовательской работы.....	99
3.7 Определение ресурсоэффективности исследования	105
4 «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	110
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	112
4.2 Производственная безопасность.....	114
4.3 Экологическая безопасность	120
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	121
Заключение	123
Список литературы	124
Приложения	128
Приложение А – Схема гидравлическая	129
Приложение Б – Чертеж детали «корпус»	130
Приложение В – Размерная схема.....	131
Приложение Г – Граф дерево	132
Приложение Д – Расчетно-технологическая карта	133
Приложение Е – Карта наладки.....	134

Введение

В процессе работы различные механизмы, машины и оборудование излучают вибрацию. Вибрация нарушает заданные конструктором параметры движения машин, механизмов и систем управления, порождает неустойчивость процессов обработки деталей и работы станка, что может вызвать отказы, в том числе полную расстройку всей системы. [1] Вибрация приводит к увеличению динамических нагрузок в элементах конструкций станков и сопряжениях, снижается несущая способность деталей, возникают усталостные разрушения. Для прецизионных, высокоскоростных станков вибрация пагубно влияет на точность обрабатываемых изделий и может приводить к их неравномерному нагреву, растрескиванию и браку. Вибрация характеризуется следующими основными параметрами, такие как виброперемещение, виброскорость, виброускорение.

Виброперемещение, данная характеристика представляет собой максимальные границы вдоль которых может перемещаться контролируемая точки при воздействии вибрации.

Виброскорость - это скорость с которой перемещается контролируемая точка оборудования при её прецессии вдоль оси измерения.

Виброускорение это величина вибрации, которая напрямую связана с силой, которая вызывает вибрацию. Силовое динамическое совместное воздействие элементов в агрегате, является виброускорением, вызывающим данную вибрацию

Значения основных параметров вибрации для различных объектов представлены в табл. 1.1 [2].

Таблица 1.1 Доминирующие и крайние значения параметров случайных колебаний основания, возбуждаемых различными группами источников вибрации

Параметр	Группы объектов			
	I	II	III	I - III
Преобладающая частота виброперемещения, Гц	8; 6 – 26	1,5 – 24	1,6 – 45	1,5 – 45
Максимальное (пиковое) значение виброскорости, мм/с	0,1 – 0,5 (0,05 – 1,1)	0,1 (0,03 – 0,37)	0,05 – 0,2 (0,03 – 0,84)	0,05 – 0,2 (0,03 – 1,1)
Среднеквадратическое значение виброскорости, мм/с	0,02 – 0,2	0,01 – 0,02	0,02 – 0,05	0,02 – 0,1

Группы объектов: I – здания с большим количеством вентиляторных установок и кондиционеров; II – объекты, где вибрация возбуждается, в основном, вследствие движения городского транспорта по прилегающим улицам; III – объекты на территории крупных промышленных предприятий, где основными источниками вибрации являются работающее технологическое оборудование (металлообрабатывающие станки, компрессоры и т.д.) и внутризаводской транспорт.

Именно поэтому вибрацию необходимо снизить до допустимого уровня, для этого используются различные виброзащитные системы.

Существуют активные и пассивные системы виброзащиты, при этом управление параметрами вибрации можно производить только в активных системах, потому что они предполагают изменения параметров.

Рассмотрим активные виброзащитные системы, которые предназначены для обеспечения максимальной неподвижности объекта виброзащиты вдоль вертикального направления при условии, если основание будет осуществлять вертикальное перемещение. Данные системы являются следящими системами, которые осуществляют движение объекта виброзащиты и внутренней несущей конструкции в противоположной фазе относительно вибрирующего основания. Также активные системы виброзащиты способствуют значительному увеличению эффективности демпфирования вибраций на низких частотах, при этом их свойства будут меняться, в зависимости от текущих условий функционирования. По типу управления активные системы подразделяют на несколько типов: по внешнему воздействию, по обратной связи, а также комбинированным. Для обеспечения необходимого уровня защиты технологических устройств от вибрации, к которым предъявляются высокие требования к допустимому уровню вибрации, применяют активные системы виброгашения, например, в случае виброизоляции высокоточных станков или платформ для старта ракет.

Рассмотрим пассивные системы виброзащиты, связанные с применением пассивных элементов, такие как упругие, диссипативные, инерционные. Специфика простых пассивных виброзащитных систем заключается в том, что на собственной резонансной частоте амплитуда колебаний, а также относящиеся к ней ускорения в значительной степени превосходят уровень допустимой вибрации на основании. Как правило, результативность виброзащиты данных систем выражается на частотах возмущающего характера, которые превышают резонансную частоту. К пассивным относятся пружинные, гидравлические, пневмогидравлические, пневматические, инерционные, резиновые, пластические амортизаторы.

При помощи вышеперечисленных систем решают задачи методов борьбы с вибрацией.

Существуют следующие методы борьбы с вибрацией, такие как вибродемпфирование, виброизоляция и динамическое виброгашение.

Вибродемпфирование и виброизоляция относятся к пассивным системам, а динамическое виброгашение к активной системе защиты от вибрации.

Рассмотрим вибродемпфирование, это метод виброзащиты, в результате которого уменьшение уровня вибрации осуществляется из-за того, что энергия, которая возникает от механических воздействий в скором времени исчезает при переходе этой энергии в тепловую из-за деформаций, которые возникают в материале данной конструкции. Амплитуда рассеивающихся волн быстро снижается в зависимости от расстояния от источника.

Рассмотрим метод защиты от вибрации, такой как виброизоляция, он позволяет ослабить связи между источником и объектом при помощи установки между ними виброизолятора.

Рассмотрим метод защиты от вибрации, такой как динамическое виброгашение это метод виброзащиты, заключающийся в присоединении к объекту виброзащиты дополнительных устройств с целью изменения характера его колебаний.

Вышерассмотренные виброзащитные системы позволяют демпфировать вибрации различных источников в различных диапазонах частот и амплитуд, представленных в таблице 1.

Существуют источники излучающие вибрации, их название и характеристики представлены в таблице 1.2.[2]

Таблица 1.2 Источники вибрации и соответствующие требуемые характеристики вибрации

Источник	Частота, Гц	Амплитуда, мм
Воздушный компрессор	4 – 20	0,254
Погрузочно – разгрузочное оборудование	5 – 40	0,025
Насосы	5 – 25	0,025
Пешеходная активность	0,55 – 6	0,0003
Воздушный шум	100 – 10000	0,25 – 0,0025
Штамповальные прессы	До 20	0,25 – 0,00030
Трансформаторы	50 – 400	0,0025 – 0,0003
Лифтовое оборудование	До 40	0,025 – 0,0003
Колебания здания в горизонтальной плоскости	$\frac{46}{H}$, где Н - высота здания, м.	2,5
Подпор воздуха в здании	1 – 5	0,0003
Железнодорожный транспорт	5 – 20	0,15 g
Автомобильный транспорт	5 – 100	0,0001 g

Вибрации излучаемые источниками представленными в таблице 1.2, демпфируются до требуемого уровня при помощи виброзащитных систем.

1 Конструкторская часть

1.1 Обзор конструкций

Рассмотрим следующие виброзащитные системы: пружинный виброизолятор с демпфером, динамический виброгаситель, виброизолятор для технологического оборудования и виброгаситель с квази нулевой жесткостью. Рассмотрим каждый вид системы подробнее.

1.1.1 Пружинный виброизолятор с демпфером в маятниковом подвесе

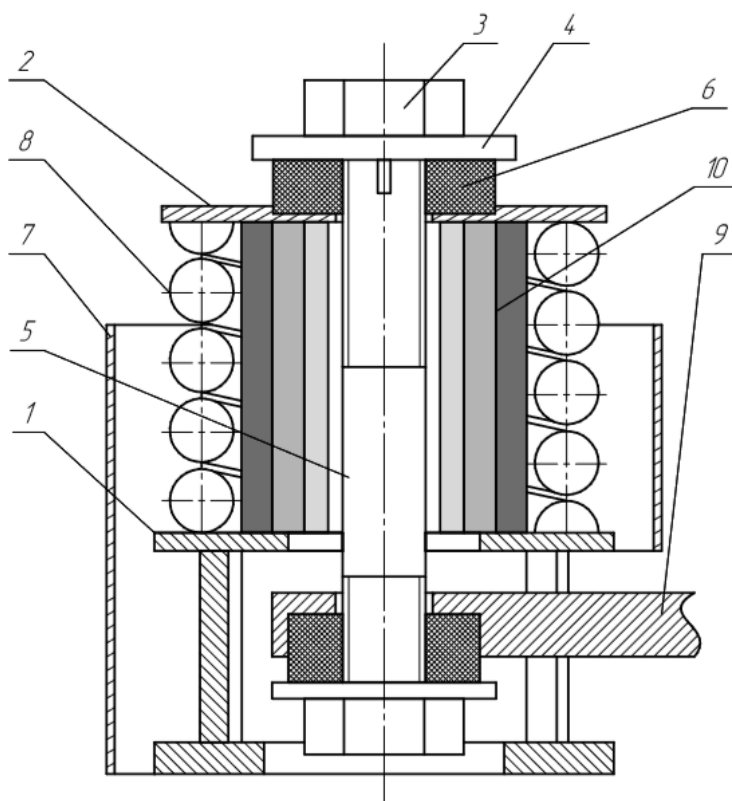


Рисунок 1.1.1.1 Пружинный виброизолятор с демпфером в маятниковом подвесе.

Рассмотрим конструкцию пружинного виброизолятора с демпфером в маятниковом подвесе [3], представленный на рисунке (рисунок 1.1.1.1), который содержит винтовую цилиндрическую пружину 8, нижнее кольцо которой опирается на верхний фланец 1 корпуса и взаимодействующую с маятниковым механизмом, который выполнен в виде резьбового стержня 5 с гайками 3 на концах и опорными шайбами 4, опирающимися на резиновые

упругие элементы 6, выполняющие функции упругого шарнира, причем верхний резиновый упругий элемент 6 расположен между верхним фланцем пружины и опорной шайбой, а нижний - между опорной шайбой и плитой 9, на которой крепится виброизолируемое оборудование.

Дополнительная виброизоляция оборудования обеспечивается по всем шести направлениям (по осям X, Y, Z и вращательным колебаниям вокруг осей). колебаний с гашением механических колебаний на резонансе, это осуществляется из-за применения в маятниковом подвесе резиновых упругих элементов 6 и демпфера 10.

Принцип действия данного устройства заключается в том, что при динамическом воздействии на виброизолируемый объект, через плиту 9 передаются вертикальные колебания, которые воспринимает пружина 8, она демпфирует нагрузку в вертикальном положении.

Маятниковый подвес воспринимает нагрузку в горизонтальном положении, в его составе имеется стержень 5 с гайками 3, привинченными на концах стержня 5, и опорными шайбами 4. Резиновые упругие элементы 6 служат опорой для опорных шайб 4.

Благодаря резиновым элементам 6, выполняющих роль упругого шарнира, которые установлены в маятниковом подвесе, обеспечивается вспомогательная пространственная виброизоляция устройства (по всем направлениям возникающих колебаний).

Недостатком этого вида системы является то, что его габаритные размеры не минимизированы по высоте, в следствии того, что они относятся к подвесным виброизолирующим системам, в которых габаритные размеры не ограничены по высоте. Для опорных систем защиты от вибрации рекомендуются относительно малые размеры по высоте.

1.1.2 Динамический гаситель

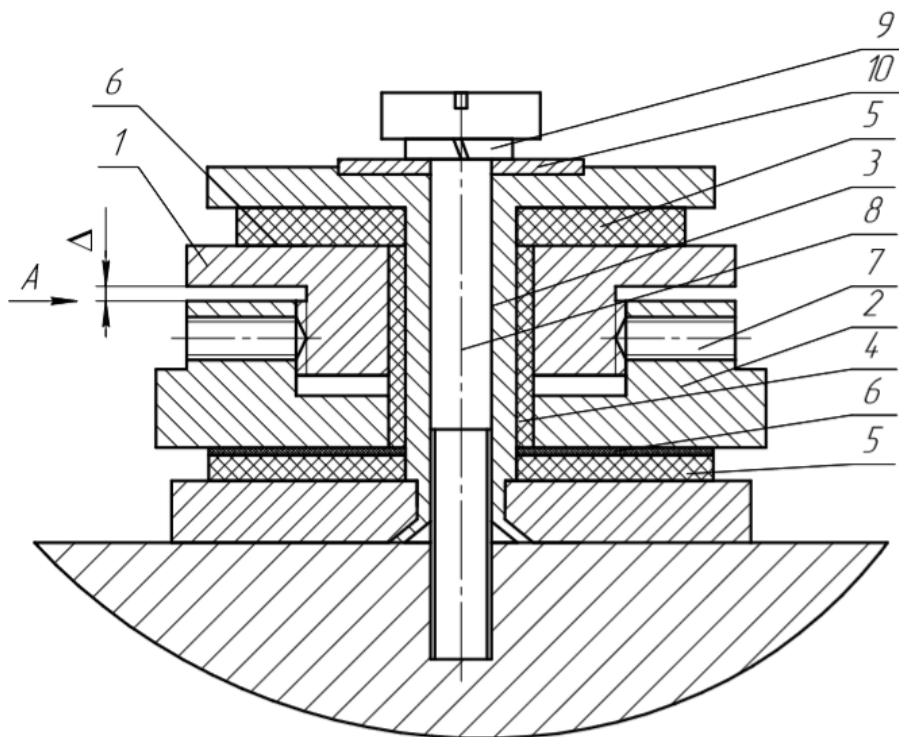


Рисунок 1.1.2.1. Динамический гаситель

Рассмотрим конструкцию динамического гасителя [4] представленный на рисунке (рисунок 1.1.2.1), содержащий инерционный элемент, состоящий из втулки 1 и гайки 2, которые связаны резьбовым соединением с зазором относительно друг друга. Инерционный элемент охватывает цилиндрическую втулку с фланцами 3. Между инерционным элементом и втулкой с фланцами 3 установлена демпфирующая втулка 4. К торцам втулки 1 и гайки 2, а также к фланцам втулки 3 плотно прижаты, прокладки 5. Прокладка 6 изготовлена антифрикционного материала, которая установлена между инерционным элементом и прокладкой 5. Для устранения прокручивания элементов 1 и 2 ставятся винты 7. При помощи винта 8, вместе с гровером 9 и шайбой 10 динамический гаситель крепится к объекту виброизоляции (не показан на рисунке).

На наружной поверхности одного из составляющих инерционного элемента отмечены риски, а на другом стрелка, вместе они формируют индикаторное устройство.

Принцип работы данной виброзащитной системы следующий, инерционный элемент состоящий из втулки 1 и гайки 2 и резиновые прокладки 5 создают возмущающие колебания, которые имеют определенную частоту, которая выстраивается на частоту колебаний виброизолируемого объекта. В то же время энергия в результате воздействия вибрации создает колебания, которые воспринимает инерционный элемент, состоящий из втулки 1 и гайки 2. Это позволяет снизить уровень вибрации, воздействующего на виброизолируемый объект. Динамический гаситель настраивается на определенную частоту путем регулирования осевого натяга резиновых прокладок 5 в зависимости от положения деталей 1 и 2. При этом на рисках деталей 1 и 2 с помощью стрелки фиксируется относительный угол поворота.

Недостатками этого вида системы является: узкий диапазон демпфируемых частот и отсутствие регулировки гасителя на частоту возмущающего воздействия при непрерывном вращении вала гасителя. В следствии чего эффективность демпфирования колебаний, а также область применения гасителя уменьшаются. [4]

1.1.3 Виброизолятор технологического оборудования

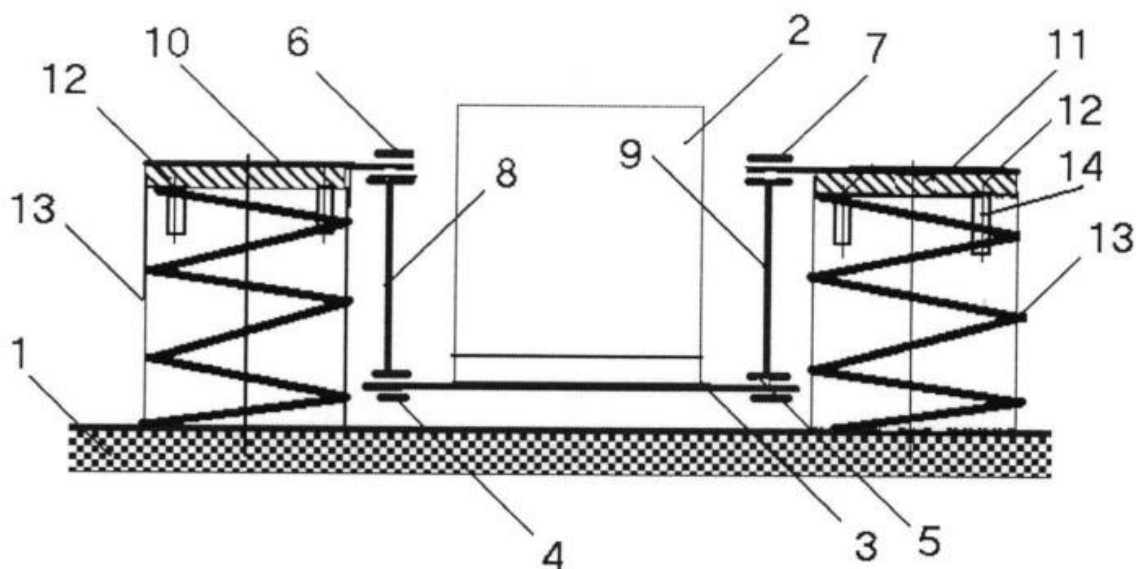


Рисунок 1.1.3.1. Виброизолятор технологического оборудования

Рассмотрим виброизолятор технологического оборудования [5], представленный на рисунке (рисунок 1.1.3.1), который содержит корпус 11 и упругие элементы 13, взаимодействующие с объектом и фиксируемые стержнями 14.

Корпус выполнен в виде шарнирно-рычажного механизма и состоит из горизонтальных рычагов 10 и 11, одни концы которых жестко связаны с крышками 12, опирающимися на упругие элементы 13, а другие посредством шарниров 6 и 7 соединены с вертикальными тягами 8 и 9, которые в свою очередь связаны посредством шарниров 4 и 5 с горизонтальной платформой 3, на которую установлено технологическое оборудование 2.

Виброизолятор для технологического оборудования (рисунок 1.1.3.1) работает следующим образом.

При колебаниях виброизолируемого объекта упругие элементы 13 воспринимают вертикальные нагрузки, ослабляя тем самым динамическое воздействие на перекрытия зданий. Горизонтальные колебания гасятся за счет шарнирно-рычажного механизма корпуса.

В качестве упругих элементов 13 использована пружина со встроенным демпфером, содержащая цилиндрическую винтовую пружину, состоящую из двух частей 17 и 18 со встречно направленными концами 20 и 19 соответствующих витков этих пружин. На опорных витках пружины выполнены опорные кольца 15 и 16 для прочной и надежной фиксации концов пружин при их работе.

Первая часть винтовой пружины 17 выполнена с витками прямоугольного (или квадратного) сечения с закругленными кромками, а вторая часть 18 пружины выполнена полой, например, круглого сечения, при этом встречно направленный конец 20 первой части пружины размещен в полости встречно направленной второй части пружины с концом 19, при этом второй ее конец, закрепленный на опорном кольце 16, загерметизирован, например, при помощи резьбовой пробки (на чертеже не показана).

В полости второй части 18 пружины, выполненной полой круглого сечения, образованы с четырех сторон, относительно прямоугольного сечения первой части 3 пружины, зазоры 21 сегментного профиля в сечении, перпендикулярном оси контактирующих частей 17 и 18 пружины.

Для лучшей регулировки жесткости пружины (без задиров, заминов и заеданий) зазоры 21 сегментного профиля контактирующих частей 17 и 18 пружины заполнены антифрикционной смазкой, например, вязкой типа «солидол», при этом на конце 19 второй части пружины установлена уплотнительная манжета (на чертеже не показана) для предотвращения утечки (потери) смазки. Такая конструкция представляет собой своеобразный демпфер «вязкого трения» с протяженным дроссельным элементом в виде зазоров 21 сегментного профиля контактирующих частей 17 и 18 пружины, которые в этом случае будут являться аналогами системы соответственно «поршень - цилиндр».

Пружина со встроенным демпфером работает следующим образом.

Регулировка жесткости пружины осуществляется укорочением или удлинением высоты пружины. При вращении опорных колец 15 и 16 витки

пружины перемещаются относительно друг друга во взаимно противоположных направлениях относительно продольной оси пружины, т.е. ввинчиваются или вывинчиваются. В первом случае (при ввинчивании) жесткость пружины увеличивается, а во втором случае (при вывинчивании) уменьшается, что позволяет упростить регулировку жесткости пружины. При этом пружина осуществляет эффективную вибрационную изоляцию оборудования по разным направлениям колебаний (по 3-м осевым X,Y,Z и поворотным).

Недостатком данной системы является недостаточная эффективность на резонансе из-за отсутствия демпфирования колебаний.

Один из вариантов вибродемпфирования может быть использован для систем с квазинулевой жесткостью. Система с квазинулевой жесткостью представляет собой упругую систему, силовая характеристика которой имеет горизонтальный участок с жесткостью, стремящейся к нулю. Данные системы обладают наиболее высоким уровнем снижения вибрации, за счет малой жесткости в сравнении с другими виброгасителями, но конструктивно сложны в исполнении, а также в настройке.

Известна виброзащитная рукоятка пневматического отбойного молотка [6], которая представлена на рисунке (рисунок 1.1.4.1), она содержит виброзащитную систему с квазинулевой жесткостью, состоящей из несущего упругого элемента и упругих элементов корректора жесткости в виде упругих продольно сжатых стержней.

1.1.4 Рукоятка пневматического отбойного молотка

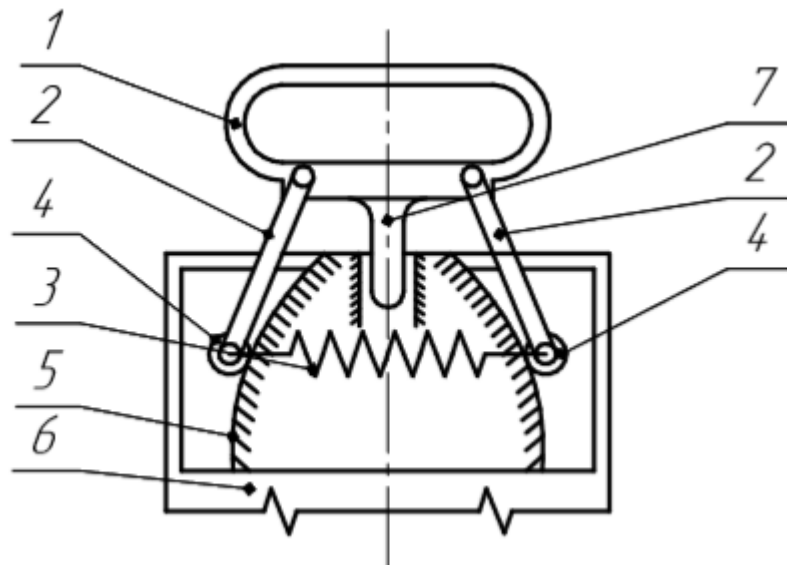


Рисунок 1.1.4.1. Рукоятка пневматического отбойного молотка

Рассмотрим конструкцию виброзащитной рукоятки отбойного молотка [6], которая представлена на рисунке (рисунок 1.1.4.1.), состоящая из: рукояти 1, звена 2, упругих элементов 3, контактных элементов 4 (роликов), направляющих параболообразной формы 5, корпуса 6.

Принцип работы данной виброзащитной системы следующий, при движении корпуса 6 в вертикальном направлении вверх, направляющие 5 перемещаются, контактные элементы 4 начинают передвигаться по параболообразной поверхности направляющих 5, при этом переходят с узкой части на более широкую. В результате этого взаимодействия происходит растяжение упругого элемента 3, из-за этого возрастает величина силы упругости элемента 3, в следствии чего возрастает и реакция, которая воздействует на контактные элементы 4. Возрастание упругой силы компенсируется сужением угла наклона направляющих 5. В результате, величина выталкивающей силы контактных элементов 4 изменяется на минимальное значение. Из этого следует, что сила, действующая на рукоять 1, также меняется на минимальное значение и не перемещается при том же усилии давления, создаваемом человеком-оператором. При движении корпуса

отбойного молотка 6 вниз устройство работает аналогично. Итак, несмотря на колебания корпуса 6 отбойного молотка, колебаний рукояти 1 не происходит. Таким образом, достигается высокоэффективная виброзащита человека-оператора.

Недостатками этого вида системы является невысокая надежность, связанная с неустойчивостью продольно сжатых стержневых систем и значительная вибрация.

В 1967 г. Профессор Алабужев П.М. впервые высказал идею использования систем с квазиулевым жесткостью, работающих по принципу «фермы Мизеса», для защиты от вибрации динамических объектов.

Данная ферма представляет собой простейшую упругую систему, которая описывает нелинейное поведение и неединственность положения равновесия. Ферма Мизеса состоит из стоек 2, к которым прикреплены пружины 4 с каждой стороны. Эти пружины 4 соединены друг с другом через корректор жесткости 1 под некоторым малым углом. Вертикальную нагрузку демпфирует пружина 3, которая также прикреплена к корректору жесткости 1.

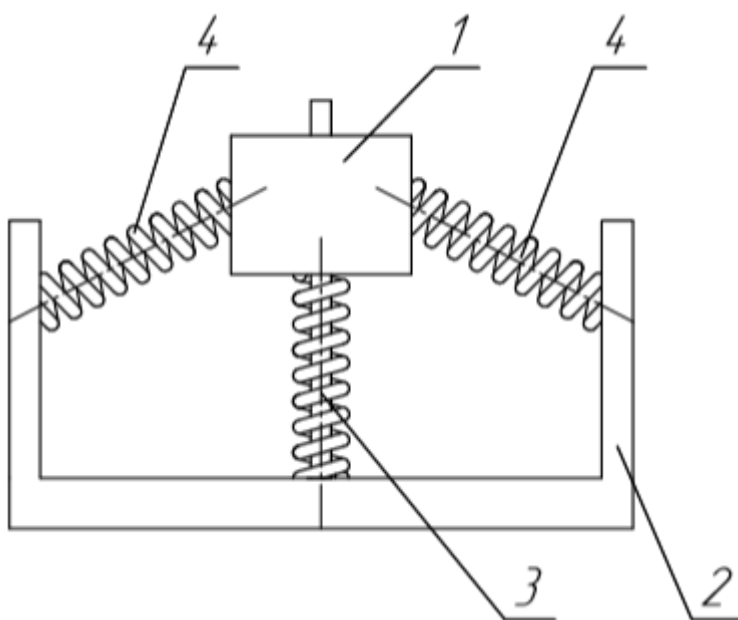


Рисунок 1.1.4.2. Ферма Мизеса

Применительно к устройству виброзащитной рукоятки отбойного молотка с квазинулевой жесткостью [6] рассмотрим принципиальную схему на рисунке (рисунок 1.1.4.3.).

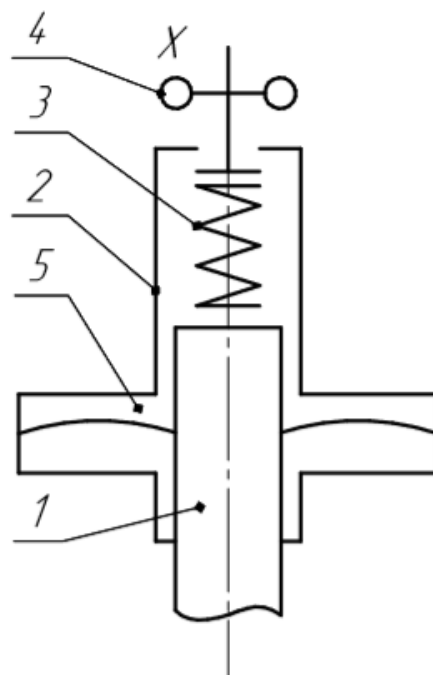


Рисунок 1.1.4.3. Принципиальная схема виброзащитной рукоятки отбойного молотка с квазинулевой жесткостью: 1. Корпус молотка; 2. Корпус рукоятки; 3. Несущий упругий элемент; 4. Регулировочный винт; 5. Упругие элементы корректора жесткости;

В устройстве виброзащитной рукоятки отбойного молотка [6] имеются наклонные пружины, представленные на рисунке (рисунок 1.1.4.4., а, б, в), исполняющие функции упругих элементов корректора жесткости 5 (рисунок 1.1.4.3). В данном случае габаритные размеры этих элементов ограничены, а значит ограничена и длина рабочего участка квазинулевой жесткости.

1.1.5 Виброзащитные системы с квазинулевой жесткостью

Существуют системы виброзащиты, в которых участок с квазинулевой жесткостью, отображенный на графике силовой характеристики (рисунок 1.1.4.5), получен за счет упругого элемента, который передвигается между двумя направляющими перпендикулярно их оси (рисунок 1.1.4.3. 3, 4, 5)

Рассмотрим схему расположения элементов системы с квазинулевой жесткостью, в возможных положениях системы (рис.1.1.4.4.).

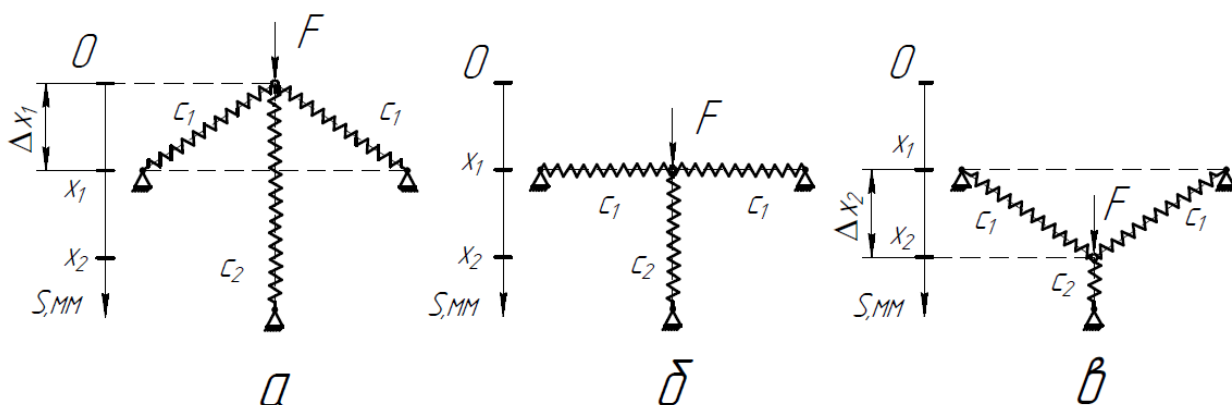


Рисунок 1.1.4.4. Положения элементов системы с квазинулевой жесткостью:

- а) Исходное положение системы (c_1 , c_2 - коэффициенты жесткости пружин);
- б) Система в рабочем положении
- в) Система в положении после «перескока».

Принцип работы данной схемы следующий, под действием вертикальной нагрузки F происходит потеря изначальной формы (рисунок 1.1.4.4., а) данной фермы, в результате «перескока» (рисунок 1.1.4.4., б), появляется новая зеркальная форма (рисунок 1.1.4.4., в), симметричная и противоположная начальной. Наибольшая нагрузка будет возникать, когда пружины находятся в горизонтальном положении.

На рисунке (рисунок 1.1.4.4., а), можно заметить, что уравнение силы будет выглядеть следующим образом:

$$F = c_2 \cdot \Delta x_2 + 2 \cdot \frac{c_1 \cdot \Delta x_1}{\cos \varphi} \quad (1)$$

В случае (рисунок 1.1.4.4.. б) уравнение будет выглядеть:

$$F = c_2 \cdot \Delta x_1 \quad (2)$$

И в случае (рисунок 1.1.4.4., в), в уравнение выглядит так:

$$F = c_2 \cdot \Delta x_2 - 2 \cdot \frac{c_1 \cdot \Delta x_2}{\cos \varphi} \quad (3)$$

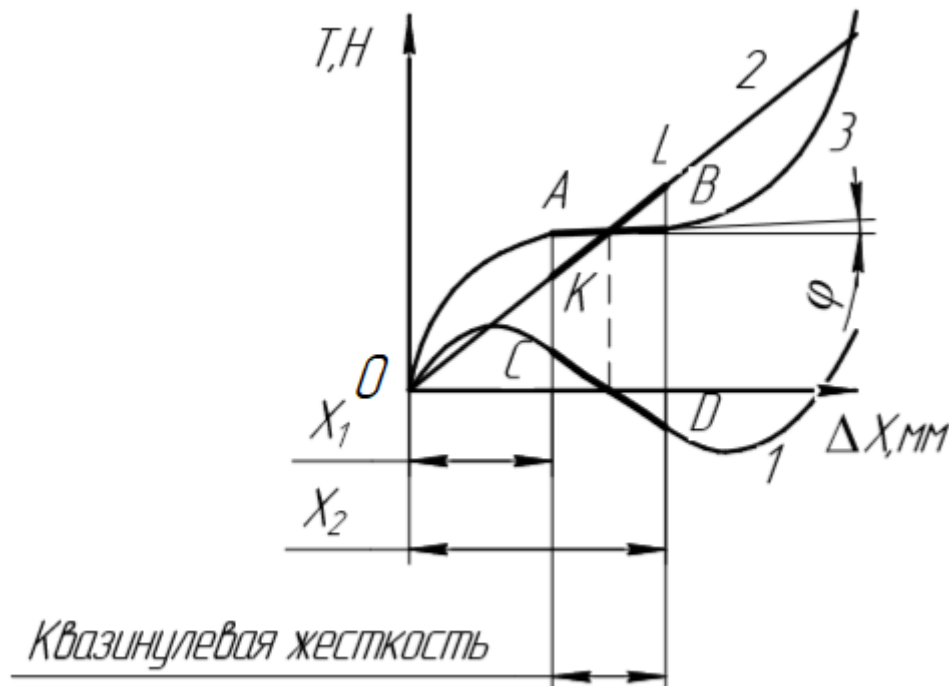


Рисунок 1.1.4.5. Силовая характеристика виброзащитных систем

Силовая характеристика систем виброзащиты имеет рабочий участок с квазинулевой жесткостью (рисунок 1.1.4.5., зависимость 3, участок АВ). При этом вертикальная сила воздействует на систему постоянно, и координата x на нее не влияет. При этом коэффициент жесткости будет стремиться к нулю. Участок с квазинулевой жесткостью формируется за счет наложения участков CD и KL, так как на участке CD отрицательная жесткость, а на KL – положительная.

Недостатком этого вида систем с вогнутой формой направляющих (рисунок 1.1.4.1) является – упругий элемент, перемещающийся между направляющими, может потерять устойчивость и изогнуться. [6]

Общим недостатком для вышеперечисленных виброзащитных систем: динамического гасителя, пружинного виброизолятора с демпфером в маятниковом подвесе, виброизолятора для технологического оборудования является то, что их жесткость линейна, а для того, чтобы эффективно демпфировать низкочастотные колебания, частота колебаний системы должна быть низкой. Рассмотренная выше система, рукоятка пневматического отбойного молотка, имеет квазинулевою жесткость, график которой представлен на рисунке (рисунок 1.1.4.5.). На данном графике видно, что жесткость на участке АВ стремится к нулю, на данном участке система находится в статическом равновесии и жесткость системы на порядки меньше, жесткости вертикального упругого элемента. За счет этого происходит демпфирование широкого диапазона колебаний.

На данный момент актуальна задача, создание виброзащитной системы минимальных размеров, с минимальным количеством деталей и узлов, с высокой степенью надежности в резонансном режиме и малой жесткостью, которая эффективно демпфирует вибрации излучаемые источником.

1.2 Предлагаемая конструкция

Поставленная задача в предыдущем пункте задача достигается тем, что виброгаситель с квазинулевой жесткостью (рисунок 1.2.1), содержит промежуточную массу с упругой связью, установленную на основании и связанную гидравлически с гасителем колебаний и гидропневмоаккумулятором. Данная упругая связь выполнена из шлангов, наполненных рабочей жидкостью. На рисунке (рисунок 1.2.1) изображена принципиальная схема виброгасителя с квазинулевой жесткостью, а на рисунке (рисунок 1.2.2) изображены возможные положения системы в процессе работы. На рисунке (рисунок 1.2.3) изображен процесс упругой деформации шлангов.

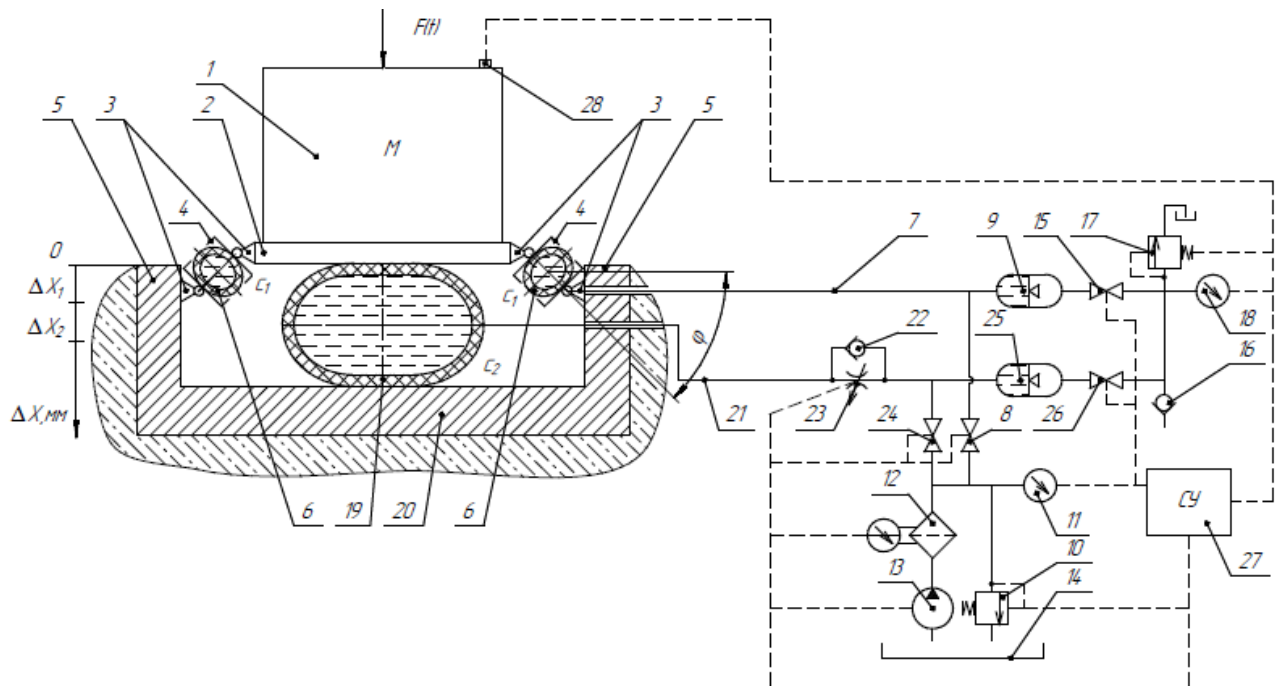


Рисунок 1.2.1. Принципиальная схема работы виброгасителя с квазинулевой жесткостью

Виброгаситель с квазинулевой жесткостью (рисунок 1.2.1) состоит из промежуточной массы 1, которая помещена на полку 2, полка 2 перемещается при помощи шарниров 3. Шарниры 3 соединены со стаканом 4 с обеих сторон, с одной стороны соединены к полке 2, с другой стороны соединены с

направляющими 5. Внутри стакана 4 расположен шланг 6 с жесткостью c_1 . Шланг 6 с жесткостью c_1 соединен трубопроводом 7 с вентилем 8 и с гидропневмоаккумулятором 9. Вентиль 8 соединен с системой создания среднего давления жидкости, которая состоит из предохранительного клапана 10, манометра 11, фильтра 12, насоса 13 связанным с баком 14, который наполнен рабочей жидкостью.

Гидропневмоаккумулятор 9 подключен к системе создания среднего давления газа, которая состоит из вентиля 15, который соединен с обратным клапаном 16, предохранительным клапаном 17 и манометром 18.

Шланг 19 расположен между основанием 20 и полкой 2. Шланг 19 соединен трубопроводом 21 с параллельно соединенными обратным клапаном 22 и регулируемым дросселем 23, которые соединены с вентилем 24 и с гидропневмоаккумулятором 25.

Гидропневмоаккумулятор 25 подключен к системе создания среднего давления газа, которая состоит из вентиля 26, который соединен с обратным клапаном 16, предохранительным клапаном 17 и манометром 18.

Для предлагаемой виброзащитной системы предусмотрена система управления 27 с датчиком 28.

Перед началом работы в зависимости от предполагаемых импульсов силы $F(t)$, поочередно настраивают давление в шлангах 6 с жесткостью c_1 и 18 с жесткостью c_2 , которое может быть не одинаковым, путем открытия/закрытия вентилей 8 и 24, при этом насос 13 подает рабочую жидкость под давлением из бака 14 на фильтр 12, а предохранительный клапан 10 служит для того, чтобы настроить давление жидкости до нужного значения, индикацию (контроль) давления осуществляют по манометру 11.

В то же время, в зависимости от средних давлений рабочей жидкости в шлангах 6 с жесткостью c_1 и 19 с жесткостью c_2 поочередно настраивают давление газа в гидропневмоаккумуляторах 9 и 25, которое может быть не одинаковым, путем открытия/закрытия вентилей 15 и 26, при этом газ поступает через обратный клапан 16, а предохранительный клапан 17

служит для того, чтобы настроить давление газа до требуемого значения, индикацию (контроль) давления осуществляют по манометру 18. Принцип действия виброгасителя с квазинулевой жесткостью (рисунок 9) заключается в следующем, на промежуточную массу 1 воздействуют вертикальной нагрузкой $F(t)$, при этом колебания возникающие при вертикальной нагрузке $F(t)$, которые воздействуют на основание 20, воспринимаются шлангами 6 с жесткостью c_1 , и 19 с жесткостью c_2 .

Площадь деформации шланга 19 с жесткостью c_2 увеличивается. Рабочая жидкость из шланга 19 с жесткостью c_2 по трубопроводу 21, обратному клапану 22 и регулируемому дросселю 23 поступает в гидропневмоаккумулятор 25. Величина перемещения увеличивается до тех пор, пока величина амплитудного значения импульса силы $F(t)$ не станет меньше или равна усилию со стороны шланга 19 с жесткостью c_2 , сдеформированного в радиальном направлении.

Одновременно с этим шланг 6 с жесткостью c_1 через стаканы 4 и шарниры 3 гасит колебания от вертикальной нагрузки $F(t)$. Стаканы являются направляющими для шланга 6 с жесткостью c_1 , а шарниры 3 передают колебания с полки 2 на шланг 6 с жесткостью c_1 через стакан 4, одновременно с этим изменяют угловое положение шлангов 6 с жесткостью c_1 . При этом увеличивается площадь деформации шланга 6 с жесткостью c_1 до положения «0 – ΔX_1 » (рисунок 1.2.2., Б). В этом положении «0 – ΔX_1 » (рисунок 1.2.2., Б) шланг имеет максимальную упругую деформацию. Также изменяется угловое положение шлангов 6 с жесткостью c_1 относительно начального положения на определенный угол φ (рисунок 1.2.2., А). При этом возникает участок с квазинулевой жесткостью. После прохождения положения «0 – ΔX_1 » (рисунок 1.2.2., Б) происходит «перескок» и шланг 6 с жесткостью c_1 принимает положение « ΔX_1 – ΔX_2 » (рисунок 1.2.2., В).

Рабочая жидкость из шланга 6 с жесткостью c_1 по трубопроводу 7, поступает в гидропневмоаккумулятор 9. Величина перемещения

увеличивается до тех пор, пока величина амплитудного значения импульса силы $F(t)$ не станет меньше или равна усилию со стороны шланга 6 с жесткостью c_1 , сдеформированного в радиальном направлении.

В дальнейшем импульс силы $F(t)$ снимается, а рабочая жидкость из гидропневмоаккумуляторов 9 или 25 под действием среднего давления газа через регулируемые трубопровод 7 и регулируемый дроссель 23 поступает в шланг 6 с жесткостью c_1 или 19 с жесткостью c_2 с меньшей скоростью, компенсируя перемещения ΔX_1 или ΔX_1 и ΔX_2 . Энергия воздействия от импульса силы $F(t)$ гасится на регулируемом дросселе 23. При последующих воздействиях импульса силы $F(t)$ процесс повторяется.

Регулируемая площадь проходного сечения дросселя 23 и величина давления в гидропневмоаккумуляторах 9 и 25 определяют эффективный диапазон частот работы устройства, так как величина давления определяет жесткость шлангов 6 и 19, а площадь дросселя 23 – темп поглощения энергии устройством.

Система управления 27 обеспечивает согласованное взаимодействие следующих элементов: вентили 8, 15, 24, 26, насос 13, манометры 11, 18, предохранительный клапан 10, 17, регулируемый дроссель 23 и датчик акселерометр 28.

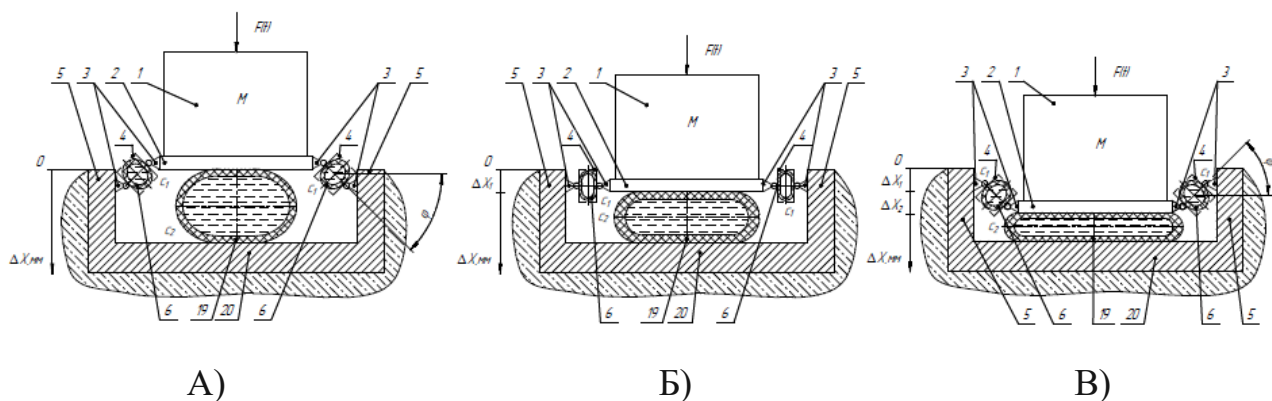


Рисунок 1.2.2. Виброгаситель с квазинулевой жесткостью представленный в трех положениях:

- А) Начальное положение «0»,
- Б) Положение тела « $0 - \Delta X_1$ »,
- В) Положение тела « $\Delta X_1 - \Delta X_2$ »

В результате приложения вертикальной нагрузки $F(t)$, шланги 6 с жесткостью c_1 , и 19 с жесткостью c_2 , упруго деформируются, процесс упругой деформации шлангов 6 с жесткостью c_1 , и 19 с жесткостью c_2 представлен на рисунке (рисунок 1.2.3.).

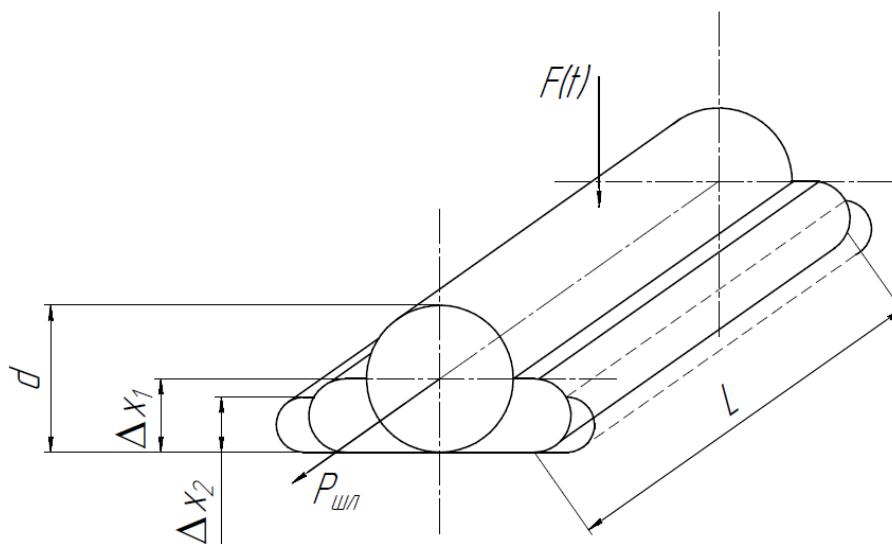


Рисунок 1.2.3. Процесс упругой деформации шлангов 1 и шланга 2

Принцип работы данной системы соответствует принципу работы фермы «Мизеса», о которой говорилось ранее. Отличие состоит в том, что в предлагаемой системе вместо пружин используются шланги.

В результате воздействия вертикальной нагрузки $F(t)$, промежуточная масса упруго деформирует шланги 6 с жесткостью c_1 , и 19 с жесткостью c_2 , в следствии чего возникает «перескок».

1.3 Расчет элементов конструкции

Рассчитать параметры и усилие демпфируемое шлангами 6 с жесткостью c_1 , и 19 с жесткостью c_2 можно с помощью формул применительно к рисунку (рисунок 1.2.1.):

В положении «0» (рисунок 1.2.2., А) виброзащитной системы, усилие действующее на полку 2 будет:

$$F = c_2 \cdot \Delta x_2 + 2 \cdot \frac{c_1 \cdot \Delta x_1}{\cos \varphi} \quad (4)$$

В положении «0 – ΔX_1 » (рисунок 1.2.2, Б) виброзащитной системы, усилие действующее на полку 2 будет:

$$F = c_2 \cdot \Delta x_2 \quad (5)$$

В положении « $\Delta X_1 - \Delta X_2$ » (рисунок 1.2.2, В) виброзащитной системы, усилие действующее на полку 2 будет:

$$F = c_2 \cdot \Delta x_2 - 2 \cdot \frac{c_1 \cdot \Delta x_1}{\cos \varphi} \quad (6)$$

Где, c_1 , c_2 – жесткость шланга 6, жесткость шланга 19 соответственно, Δx_1 и Δx_2 – величина, упругой деформации шлангов 6 и 19 соответственно.

Расчеты силового воздействия на шланги:

Сила тяжести, действующая со стороны падающего груза на шланг:

$$F_{\text{тяж}} = mg \quad (7)$$

Жесткость материала С шлангов состоит из:

- Собственной жесткостью $C_{\text{шл}}$ на длине шланга L;

- Жесткости, обусловленной предварительным давлением в рукаве C_{P0} ;
- Жесткости, обусловленной возрастанием площади при воздействии на шланг $C_{\Delta F}$;

Данные параметры рассчитываются из следующих формул:

$$C_{\text{ш}L} = C_{\text{ш}} \cdot L \quad (8)$$

$$C_{P0} = \frac{\pi}{2} \cdot P_0 \cdot L \quad (9)$$

$$C_{\Delta F} = \frac{\pi^2 \cdot x_2 \cdot L^2}{4 \cdot \beta \cdot W_0} \quad (10)$$

Суммарная жесткость материала шлангов:

$$C = C_{\text{ш}} \cdot L + \frac{\pi}{2} \cdot P_0 \cdot L + \frac{\pi^2 \cdot x \cdot L^2}{4 \cdot \beta \cdot W_0} \quad (11)$$

где L – длина шланга;

P_0 – начальное давление в шланге;

x – начальное поджатие шланга;

W_0 – начальный объем шланга.

При воздействии динамическом или статическом воздействии на шланги возникает сила упругости, которая противодействует силе тяжести:

$$F_{\text{тяж}} = F_{\text{упр}} = 2 \cdot C \cdot \Delta x, \quad (12)$$

при этом Δx – величина упругой деформации шланга в текущий момент.

$$\Delta x = \frac{F_{\text{упр}}}{2 \cdot C} = \frac{m \cdot g}{2 \cdot C} \quad (13)$$

На шланги со стороны груза действует давление:

$$\Delta P = \frac{F_{\text{тяж}}}{S} = \frac{F_{\text{упр}}}{S} = \frac{2 \cdot C \cdot \Delta x}{S}, \quad (14)$$

где S – площадь соприкосновения груза со шлангами.

Коэффициент сжимаемости жидкости:

$$\beta = \frac{\Delta W}{\Delta P \cdot W_0}, \quad (15)$$

где W_0 – начальный объем,

ΔW – изменение объема жидкости;

ΔP – изменение давления.

Отсюда следует:

$$\Delta W = \beta \cdot \Delta P \cdot W_0.$$

Объем одного шланга в начальном состоянии:

$$W_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L, \quad (16)$$

где D – диаметр шланга.

Изменение объема жидкости в одном шланге запишем в следующем виде:

$$W_0 = \beta \cdot \frac{2 \cdot C \cdot \Delta x}{S} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L, \quad (17)$$

Объем жидкости в шланге в данном случае представлен разностью между начальным объемом жидкости и величиной, на которую изменяется объем при воздействии на шланг:

$$\begin{aligned} W = W_0 - \Delta W &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L - \beta \cdot \frac{2 \cdot C \cdot \Delta x}{S} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \\ &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot \left(1 - \beta \cdot \frac{2 \cdot C \cdot \Delta x}{S} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\omega = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} \approx 0,5 - 0,7 \text{ Гц} \quad (19)$$

ω – собственная частота колебаний.

Собственная частота определяет для данной системы величину резонанса и в каком диапазоне будет резонанс.

$$\left(\frac{\pi \cdot x}{2} \cdot l \right) \cdot P = T_{\text{соп}} \quad (20)$$

$$\text{Где } \frac{\pi \cdot x}{2} = f_{\text{шл}}$$

x – перемещение верхней плиты.

Сила трения определяется коэффициентом трения и скоростью перемещения шланга (его сжатия и разжатия).

$$F_{\text{тр}} = \alpha \cdot \dot{x} \quad (21)$$

α - коэффициент трения

\dot{x} – скорость перемещения

$$Q = \mu \cdot f_{\text{др}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} = K \cdot f_{\text{др}} \cdot \sqrt{\Delta P} \quad (22)$$

$$\dot{x} \cdot f_{\text{шл}} = Q_{\text{шл}} \quad (23)$$

Где $Q_{\text{шл}}$ – расход рабочей жидкости в шланге.

1.4 Характеристики

Эффективность работы виброзащитных систем можно сравнить при помощи значения коэффициента виброизоляции. График сравнения коэффициента виброизоляции линейной виброзащитной системы и виброзащитной системы с квазиулевыми жесткостями приведен на рисунке (рисунок 1.4.1).

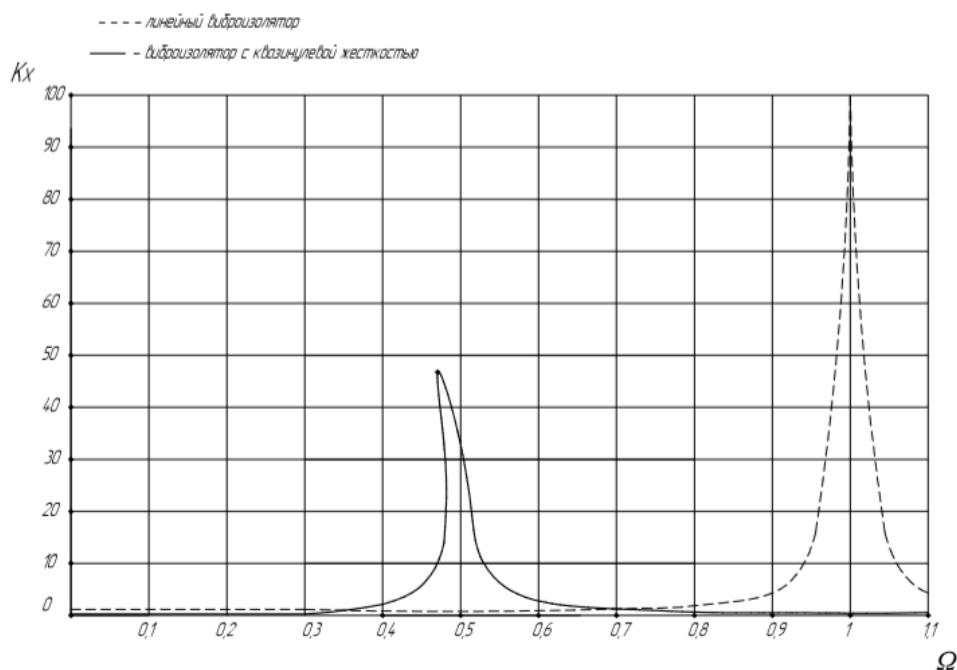


Рисунок 1.4.1. Сравнение коэффициента виброизоляции линейной виброзащитной системы и виброзащитной системы с квазиулевыми жесткостями

Видно, что пунктирная кривая на графике (рисунок 1.4.1.), соответствующая типичной кривой линейной виброзащитной системы,

например, пневмоамортизатора или пружинного виброизолятора, имеет свой максимум при совпадении частоты вынужденных колебаний с собственными при $\Omega = 1$. Более наглядным способом сравнения является представление зависимостей в масштабе дБ, представленном на рисунке (рисунок 1.4.2.).

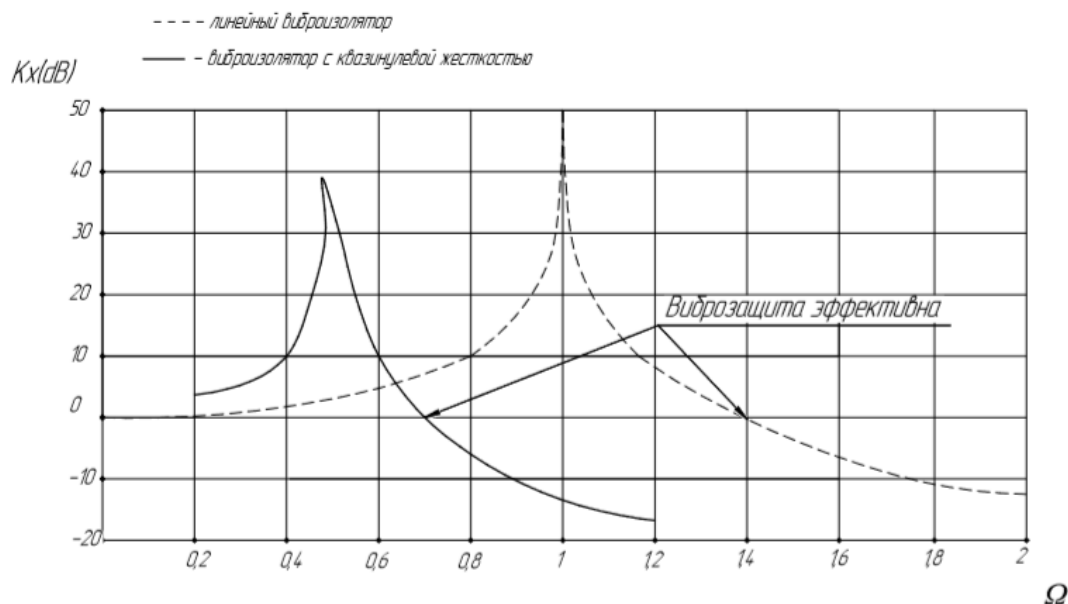


Рисунок 1.4.2. Сравнение коэффициента виброизоляции линейной виброзащитной системы и виброзащитной системы с квазиулевыми жесткостями.

В области $K_x < 0$, формируется область эффективной работы системы с виброзащитой. Проанализируем график (рисунок 1.4.2), из которого видно, что диапазон эффективной работы виброзащитной системы с квазиулевыми жесткостями значительно больше, по сравнению с линейной виброзащитной системой. Кроме того, наибольшая величина коэффициента виброизоляции у виброзащитной системы с квазиулевыми жесткостями имеет меньшее значение, чем у линейной виброзащитной системы. [4]

1.5 3D модель виброгасителя с квазинулевой жесткостью

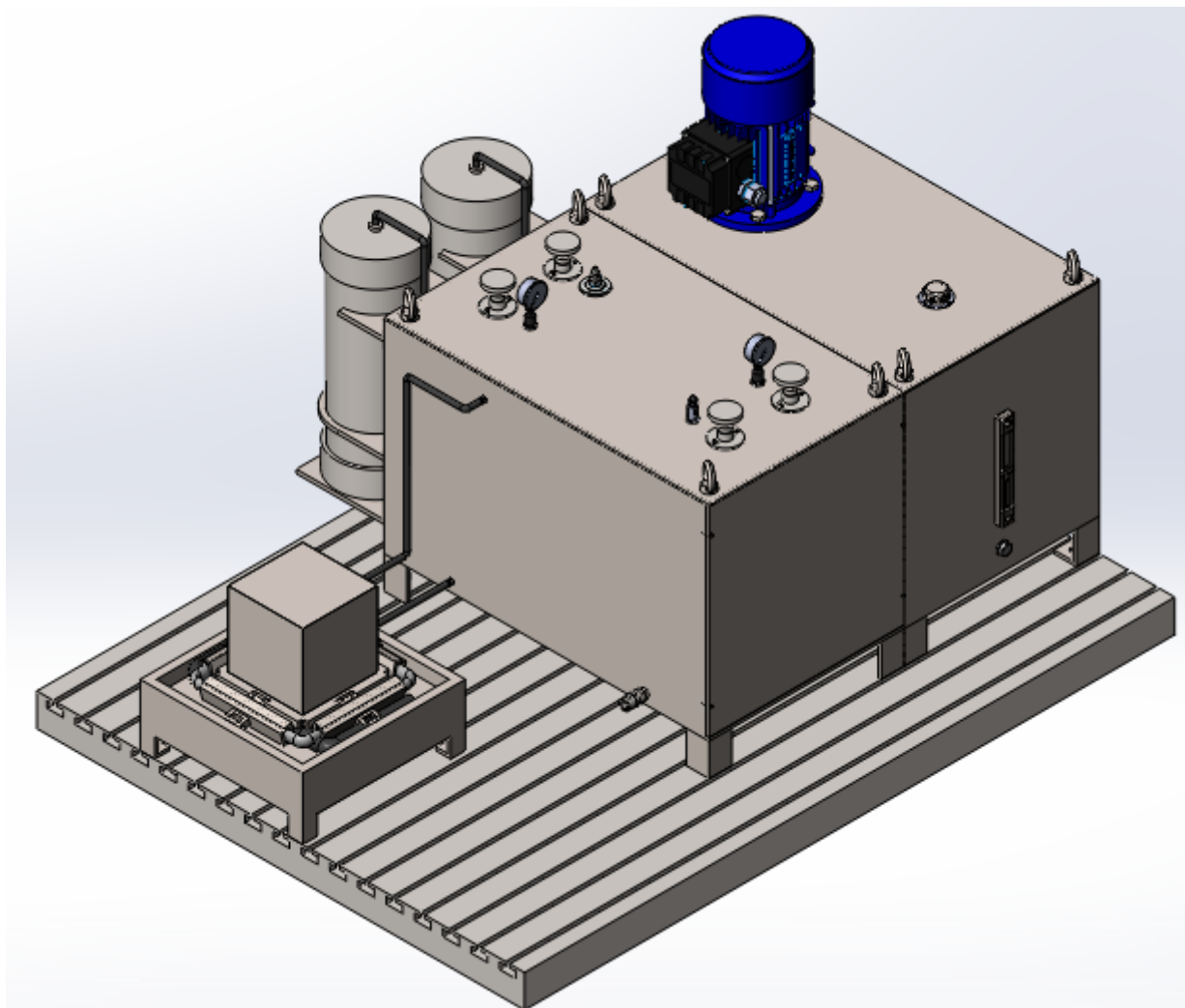


Рис.1.5.1. 3D модель виброгасителя с квазинулевой жесткостью

Рассмотрим подробнее конструкцию данного виброзащитного устройства.

На рисунке (Рис.1.5.2.) изображены следующие элементы: 1.Электродвигатель, 2. Корпус маслостанции, 3. Уровень масла, 4. Крышка для заливания масла, 5. Сливная пробка, 6. Гидропневмоаккумулятор, 7. Обратный клапан, 8. Основание, 9. Корпус виброгасителя, 10. Рым болты.

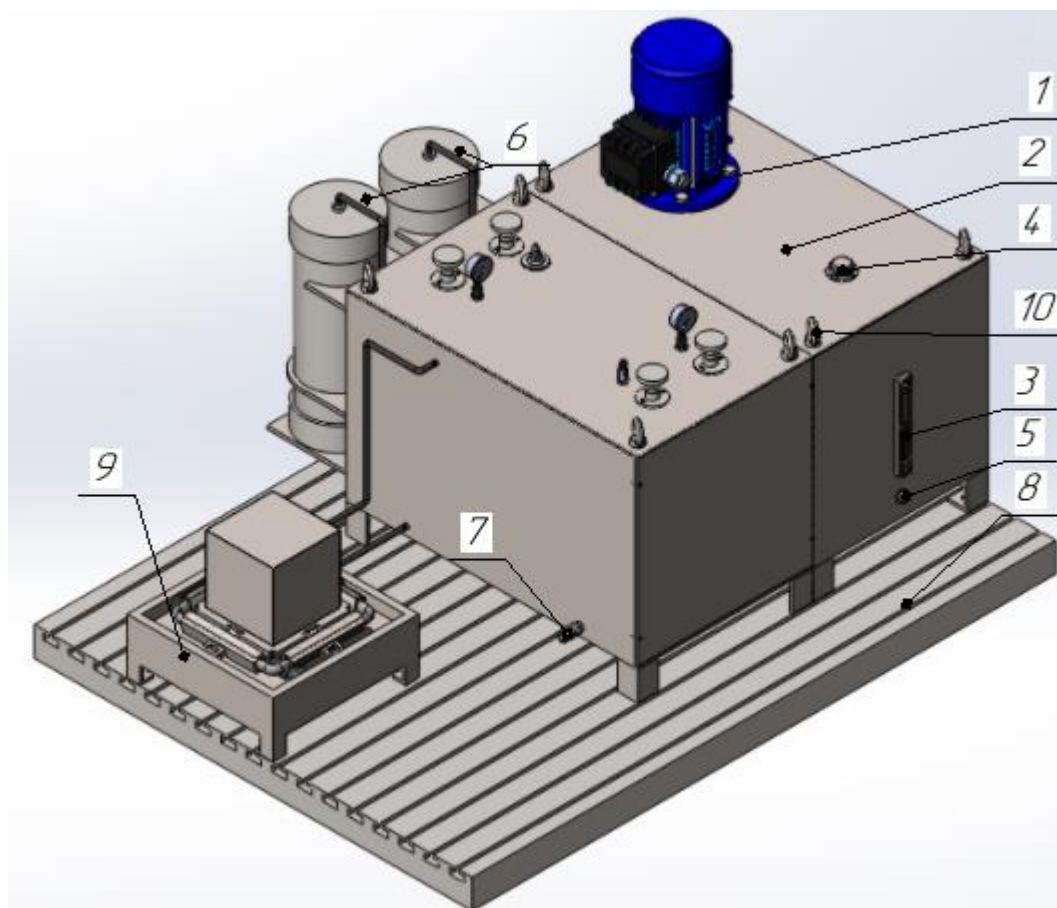


Рис.1.5.2 Обозначения устройства

На рисунке (Рис.1.5.3.): 11. Вентиль, 12. Манометр, 13. Предохранительный клапан.

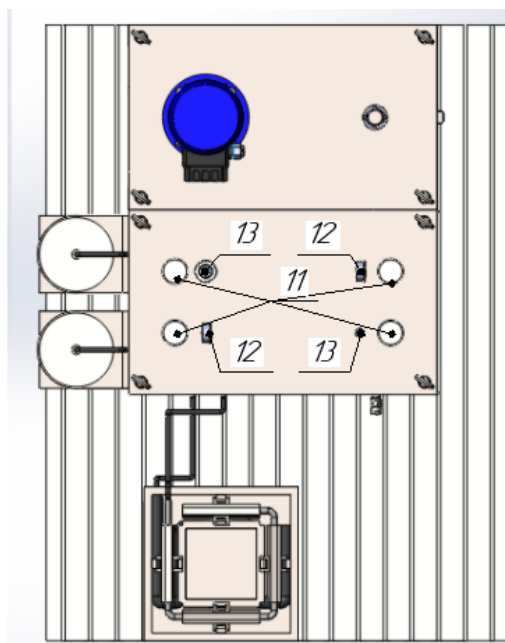


Рис.1.5.3 Вид сверху

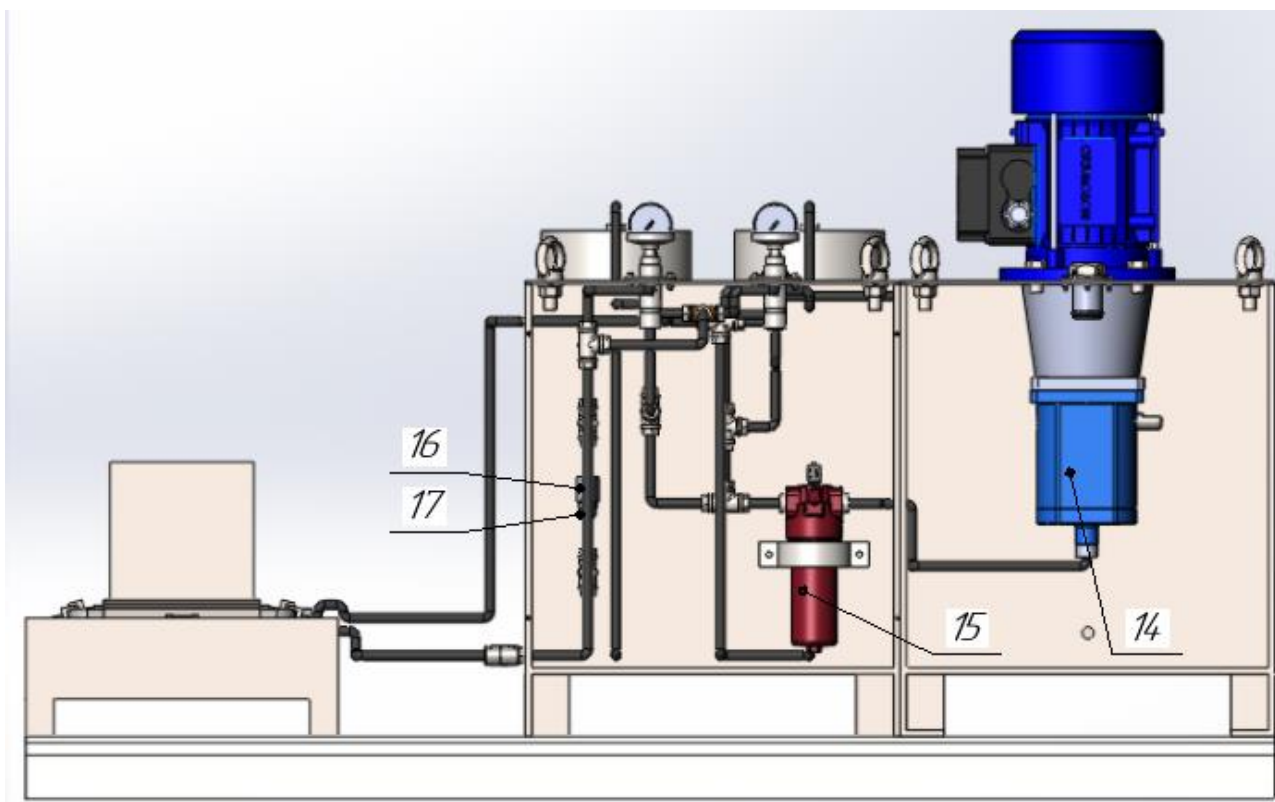


Рис.1.5.4 Устройство в разрезе

На рисунке (Рис.1.5.4): 14. Аксиально-поршневой насос, 15. Фильтр, 16. Дроссель, 17. Обратный клапан.

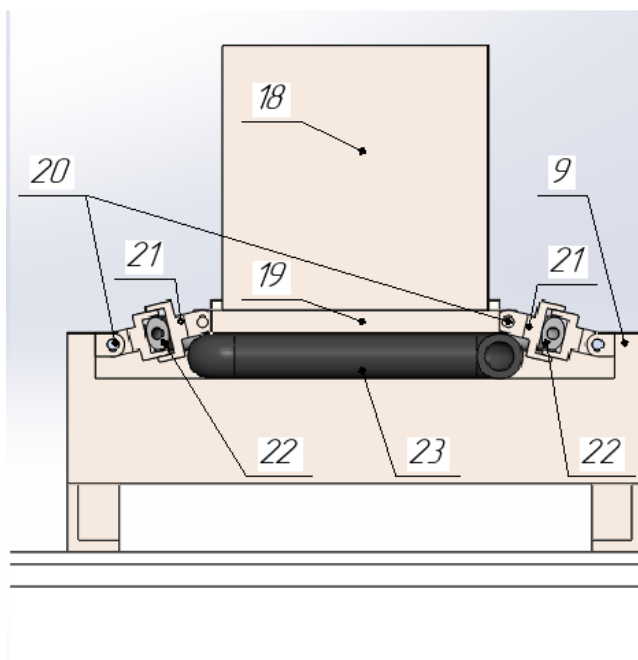


Рис.1.5.5 Виброгаситель с квазиулеевой жесткостью в разрезе.

Рассмотрим 3D модель виброгасителя с квазинулевой жесткостью в разрезе (Рис.1.5.5.):

Виброгаситель с квазинулевой жесткостью (рис. 1.5.5.) состоит из промежуточной массы 18, которая помещена на полку 19, полка 19 перемещается при помощи шарниров 20. Шарниры 20 соединены со стаканами 21 с обеих сторон, с одной стороны соединены с полкой 19, с другой стороны соединены с корпусом 9. Внутри стакана 21 расположен шланг 22 с жесткостью c_1 . Между полкой 19 и корпусом 9 расположен шланг 23 с жесткостью c_2 .

Возможно два варианта работы схемы, представленных на рисунке (Рис.1.5.6.):

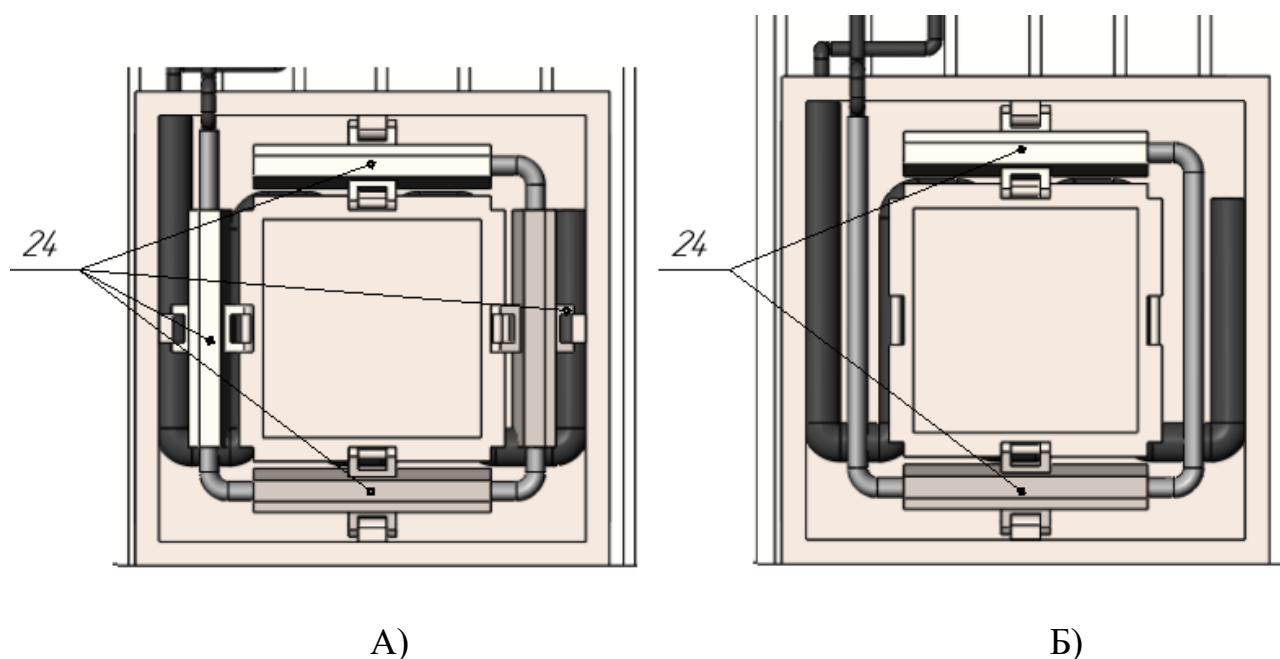


Рис.1.5.6 Варианты работы схемы.

На рисунке представлены соединения шарниров со стаканами 24, в случае А, установлено 4 соединения шарниров со стаканами 24, а в случае Б – 2 соединения шарниров со стаканами 24. Эти варианты А и Б различаются по направлению демпфирования колебаний. В случае А возможно демпфирование

колебаний в любом направлении, а в случае Б демпфирование колебаний будет осуществляться только вдоль установленных соединений шарниров со стаканами 24.

Вывод по разделу:

В конструкторской части были рассмотрены различные виброзащитные системы, их конструкция, расчет параметров и принцип работы. Рассматривая эти системы были обнаружены следующие недостатки большие габариты системы, малый диапазон частот гасимых колебаний, большое количество узлов и деталей системы, а также малая степень надежности на резонансном режиме. Предлагаемая система устраняет эти недостатки, так как имеет нелинейную жесткость. Это позволяет гасить широкий диапазон колебаний.

В результате получена виброзащитная система, которая характеризуется малой жесткостью, малыми габаритами и большим диапазоном демпфируемых частот. Эффективность работы данной виброзащитной системы продемонстрирована на графике (рисунок 1.4.1), на котором видно, что коэффициент виброизоляции нелинейной системы с квазиулевым жесткостью выше, чем у других виброзащитных систем.

2 Технологическая часть

Введение

При разработке технологического процесса основная задача специалиста заключается в том, чтобы найти оптимальный вариант перехода от заготовки к готовой детали требуемого качества при ее наименьшей себестоимости.

На разработку технологического процесса существенно влияет технологичность детали. Необходимо обеспечить не только эксплуатационные требования, но и требования к экономичности изготовления. Показателями технологичности детали являются трудоемкость, себестоимость, материалоемкость и энергоемкость.

Трудоемкость изготовления детали выражается суммой нормо-часов, которые были потрачены на технологические процессы изготовления.

Себестоимость - суммарные (по всем составным частям изделия) значения расходов на материалы, заработную плату производственных рабочих с начислениями и накладных расходов. Себестоимость является обобщающим показателем качества изделия и в определенной мере определяет технологичность детали.

Материалоемкость характеризует количество материала, затраченного на изготовление изделия единицы массы. На практике часто используют материалоемкость как отношение массы изделия к одному из основных технических его параметров (например, мощности).

Энергоемкость характеризует количество топливно-энергетических ресурсов, которые тратятся на изготовление изделия, например, кВт.

Целью данной работы является разработка технологического процесса изготовления детали. Чтобы разработать технологический процесс изготовления детали, необходимо подобрать заготовку, составить в правильной последовательности маршрут обработки, режимы резания, и рассчитать припуски.

2.1 Техническое задание

Необходимо разработать технологический процесс изготовления детали «корпус» [приложение В – деталь «корпус»] для мелкосерийного производства.

Деталь «Корпус» [приложение В – деталь «корпус»] служит для защиты поршня гидроаккумулятора от внешних воздействий, попадания внутрь абразивных частиц, а также обеспечивает бесперебойную работу гидроаккумулятора.

2.2 Анализ технологичности детали

Необходимо провести оценку технологичности детали. Она проводится по 4 критериям технологичности, среди которых:

- Технологичность заготовки;
- Технологичность конфигурации детали;
- Технологичность базирования и закрепления;
- Технологичность обрабатываемых поверхностей. [7]

Оценим технологичность детали «Корпус» [приложение В – деталь «корпус»]:

Заготовкой для детали «Корпус» [приложение В – деталь «корпус»] выбран стальной круглый прокат с размерами близкими к конструкторским. При этом в процессе обработки внутреннего отверстия детали тратится значительное количество материала и это не технологично. Технологичнее выбрать в качестве заготовки стальную трубу с размерами близкими к конструкторским и выполнить сварное соединение трубы и стенки, при этом расход материала уменьшится. Материалом заготовки выбрана Сталь 38ХНЗМА [8, с.216]. Данная сталь не применяется для сварных операций, поэтому технологичнее выбрать стальной прокат.

Заданная конфигурация детали «Корпус» [приложение В – деталь «корпус»] выполнена в виде тела вращения, это технологично, так как имеется доступ ко всем поверхностям для осуществления обработки детали.

Внутри детали имеется отверстие под поршень, значение шероховатости на поверхности отверстия составляет $Ra\ 1,25$. Чтобы осуществить выход инструмента при расточке или шлифовании отверстия, предусмотрена канавка.

Данная деталь имеет опорную поверхность, выполненную в виде фланца, это не технологично, так как приходится дополнительно обрабатывать поверхность фланца. Также фланец создает определенные трудности при закреплении заготовки в трёхкулачковом патроне для ее обработки, так как его поверхности недостаточно, для надежного закрепления. Однако учитывая что разница между диаметрами $\varnothing 128$ и $\varnothing 150$ небольшая, то деталь можно считать технологичной. Маршрут обработки в данном случае основан на принципе совпадения технологической базы с измерительной базой для получения минимальной погрешности при установке.

В связи с малым значением шероховатости ($Ra\ 1,25$) некоторых поверхностей, а также высоким классом точности некоторых размеров увеличивается себестоимость обработки детали, также увеличивается количество чистовых операций.

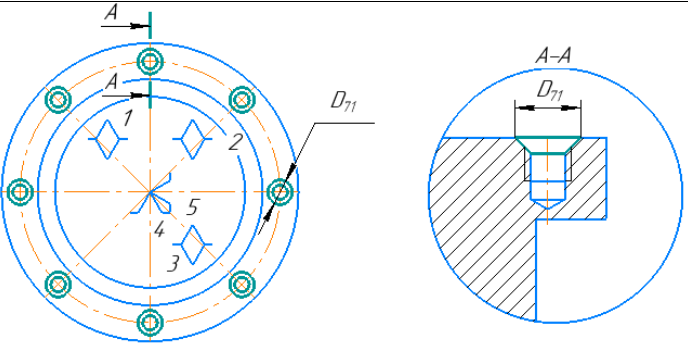
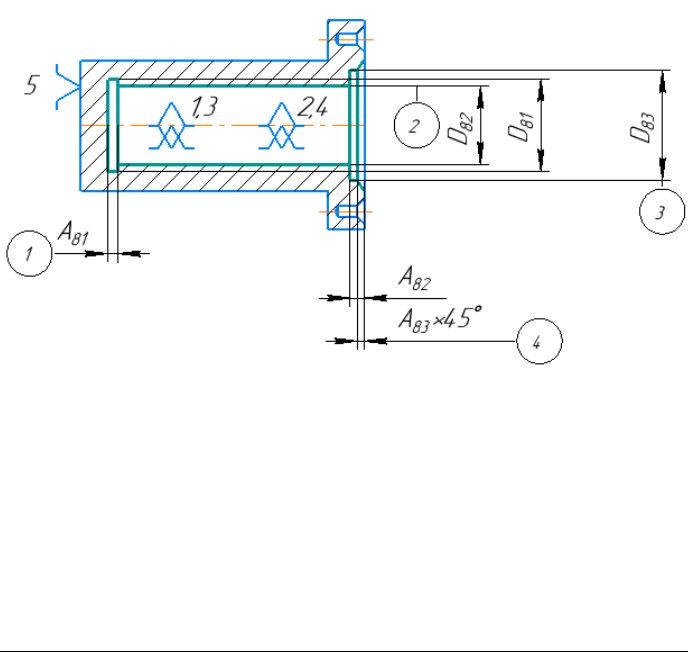
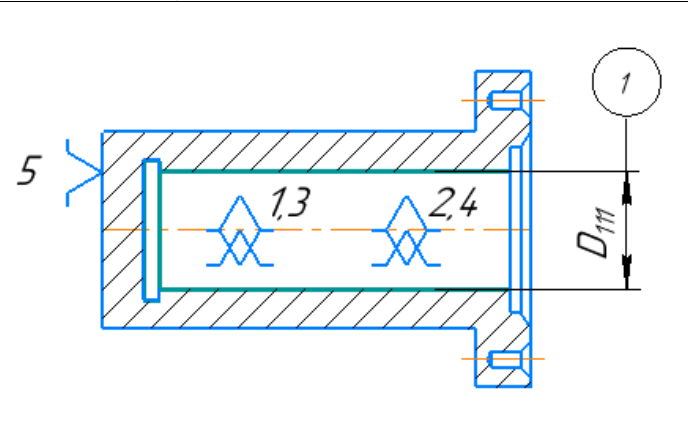
Процесс закалки также увеличивает затраты на изготовление.

Таким образом, изготавливаемая деталь считается не технологичной в связи с несколькими факторами: при обработке детали расходуется большое количество материала, а также усложняется процесс обработки из-за выступа (фланца). Количество чистовых операций, а также значение шероховатости увеличивают стоимость детали, это соответственно не технологично. Деталь является технологичной только по показателю конфигурации, потому что имеет форму вращения, при этом возможно осуществление обработки.

2.3 Технологический маршрут изготовления детали

Уста нов	Операция	Эскиз
А	<p>0. Заготовительная</p> <p>Закрепить заготовку в призме.</p> <p>1) Отрезать заготовку на ленточнопильном станке, выдерживая размеры A_{01} и D_{01}.</p>	
А	<p>1. Токарная (черновая)</p> <p>Установить заготовку в трёхкулачковый патрон.</p> <p>1) Подрезать торец 1, выдерживая размер A_{11}.</p>	
А	<p>2. Центрирование</p> <p>Установить заготовку в токарный трехкулачковый самоцентрирующий патрон</p> <p>1) Центровать торец 1 ГОСТ 14034 - 74</p>	
А	<p>3. Сверлильная</p> <p>Установить заготовку в токарный трехкулачковый самоцентрирующий патрон</p> <p>1) Сверлить отверстие 1 диаметра D_{31}, выдерживая размеры A_{31}.</p>	

А	<p>4. Токарная (черновая)</p> <p>Установить заготовку в трёхкулачковый патрон.</p> <p>1) Подрезать торец 1, выдерживая размер A_{41}</p> <p>2) Расточить отверстие 2, выдерживая размеры A_{42} и D_{41}.</p> <p>3) Расточить углубление 3, выдерживая размеры A_{43} и D_{42}.</p>	
Б	<p>Установить заготовку на расжимной оправке</p> <p>1) Подрезать торец 1, выдерживая размер A_{44}.</p> <p>2) Точить поверхность 2, выдерживая размеры A_{45} и D_{43}.</p> <p>3) Точить поверхность 3, выдерживая размер D_{44}.</p>	
А	<p>5. Сверлильная</p> <p>Установить заготовку в токарный трехкулачковый самоцентрирующий патрон</p> <p>1) Сверлить отверстия $\varnothing D_{52}$, выдерживая размеры A_{51} и D_{51}.</p>	
А	<p>6. Нарезать резьбу в отверстиях М12 используя метчик на глубину A_{61}.</p>	

А	<p>7. Зенковка</p> <p>1)Зенковка отверстия, выдерживая размеры D_{71}.</p>	
А	<p>8. Токарная с ЧПУ</p> <p>Установить заготовку в трёхкулачковый патрон.</p> <p>1)Точить канавку 1, выдерживая размеры A_{81} и D_{81}.</p> <p>2)Расточить отверстие 2, выдерживая размер D_{82}.</p> <p>3) Расточить углубление 3, выдерживая размеры A_{82} и D_{83}.</p> <p>4)Точить фаску 4, выдерживая размер $A_{83} \times 45^\circ$.</p>	
А	9. Закалка	850 ⁰ С, масло И-20 до 277НВ.
А	10. Отпуск	590 ⁰ С, воздух по ГОСТ 4543-71
А	<p>11.Шлифование</p> <p>Установить заготовку в трёхкулачковый патрон.</p> <p>1)Шлифовать поверхность 1, выдерживая размер D_{101}.</p>	

На основе технологического маршрута составлена размерная схема [приложение Г – Размерная схема] обработки детали и граф дерева [приложение Д – Граф дерева]. Размерная схема [приложение Г – Размерная схема] и граф [приложение Д – Граф дерева] используются для определения технологических линейных и диаметральных размеров детали и их предельных отклонений.

2.4 Определение допусков на технологические диаметральные размеры

Допуски на диаметральные размеры можно принять равными статистической погрешности ω_{ci} . [7, с.80, прил. 1]. Определим допуск на диаметральные размеры:

1. $TD_{01} = 0,4$ мм
2. $TD_{31} = 0,2$ мм
3. $TD_{41} = 0,4$ мм
4. $TD_{42} = 0,4$ мм
5. $TD_{43} = 0,4$ мм
6. $TD_{44} = 0,4$ мм
7. $TD_{51} = 0,1$ мм
8. $TD_{52} = 0,2$ мм
9. $TD_{81} = 0,2$ мм
10. $TD_{82} = 0,17$ мм
11. $TD_{83} = 0,2$ мм
12. $TD_{111} = 0,02$ мм

2.5 Определение минимальных припусков на обработку поверхностей вращения

Формула для определения минимального припуска на обработку поверхности вращения имеет следующий вид:

$$Z_{i \min} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}),$$

где

Rz – шероховатость поверхности, мкм [7, с.87, прил. 2]

h – величина дефектного слоя поверхности, мкм [7, с.87, прил. 2])

ρ – точность геометрической формы, мкм [7, с.88, прил.3]

ε – погрешность закрепления заготовки, мкм [7, с.91, прил.4]

Запишем величины $Z_{i \min}$ в таблицу 2.5.1 для всех диаметральных припусков:

Таблица 2.5.1. Значения диаметральных припусков

	Rz_{i-1} , МКМ	h_{i-1} , МКМ	ρ_{i-1} , МКМ	ε_{yi} , МКМ	$Z_{Di \min}$, мм
$Z_{D41 \min}$	100	80	250	600	1,66
$Z_{D44 \min}$	100	80	100	600	1,6
$Z_{D81 \min}$	63	60	40	120	0,5
$Z_{D82 \min}$	32	30	40	120	0,4
$Z_{D83 \min}$	32	30	40	120	0,4
$Z_{D111 \min}$	20	25	15	60	0,2

$$Z_{D41 \min} = 2 \cdot \left(100 + 80 + \sqrt{250^2 + 600^2} \right) = 1,66 \text{ мм}$$

$$Z_{D44 \min} = 2 \cdot \left(100 + 80 + \sqrt{100^2 + 600^2} \right) = 1,6 \text{ мм}$$

$$Z_{D81 \min} = 2 \cdot \left(63 + 60 + \sqrt{40^2 + 120^2} \right) = 0,5 \text{ мм}$$

$$Z_{D82 \min} = 2 \cdot \left(32 + 30 + \sqrt{40^2 + 120^2} \right) = 0,4 \text{ мм}$$

$$Z_{D83 \min} = 2 \cdot \left(32 + 30 + \sqrt{40^2 + 120^2} \right) = 0,4 \text{ мм}$$

$$Z_{D111 \min} = 2 \cdot \left(20 + 25 + \sqrt{15^2 + 60^2} \right) = 0,2 \text{ мм}$$

2.7 Расчет диаметральных технологических размеров

В данном разделе произведен расчет методом максимума – минимума с использованием способа средних значений. Для того, чтобы произвести расчет составлены размерные схемы технологических маршрутов обработки поверхностей вращения.

2.7.1 Расчет диаметра проката

Для определения диаметра проката D_{01} необходимо рассмотреть технологическую цепь (Рис. 2.7.1.1.), которая содержит этот размер.

В этой цепи известно: полностью составляющее звено D_{44} ($D_{44} = K_{D1} = 150_{-0,4}$), допуск составляющего звена D_{01} и минимальное значение замыкающего звена – припуска z_{D44min} .

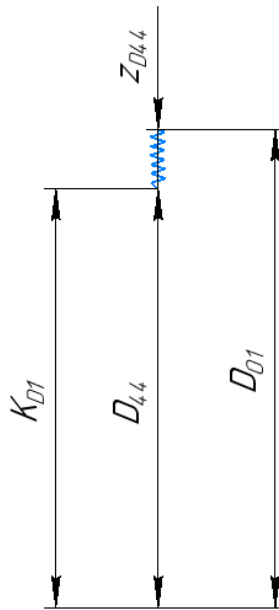


Рис.2.7.1.1. Размерная схема для определения диаметра проката

Решение:

1) Определим среднее значение D_{44} :

$$D_{44}^c = D_{44} + \frac{HOD_{44} + BOD_{44}}{2} = 150 + \frac{-0,4 + 0}{2} = 149,8 \text{ мм.}$$

Звено D_{44} запишется в соответствующем виде: $D_{44} = 149,8 \pm 0,2 \text{ мм.}$

2) Определим среднее значение z_{D44} :

$$z_{D44}^c = z_{D44min} + \frac{TD_{44} + TD_{01}}{2} = 1,6 + \frac{0,4 + 0,4}{2} = 2 \text{ мм.}$$

3) Определим среднее значение звена D_{01} :

$$D_{01}^c = D_{44}^c + z_{D44}^c = 149,8 + 2 = 151,8 \text{ мм}$$

4) Определим допуск звена D_{01} :

$$TD_{01} = BOD_{01} - HOD_{01} = 0,8 - (-2) = 2,8 \text{ мм.}$$

5) Вычислим номинальное значение звена D_{01} :

$$D_{01} = D_{01}^c - \frac{HOD_{01} + BOD_{01}}{2} = 151,8 - \frac{0,8 - 2}{2} = 152,4 \text{ мм.}$$

Следовательно, расчетное значение этого звена:

$$D_{01} = 152,4 \begin{smallmatrix} +0,8 \\ -2,0 \end{smallmatrix} \text{ мм.}$$

Выбираем стандартный прокат $D_{01\phi} = 155 \begin{smallmatrix} +0,8 \\ -2,0 \end{smallmatrix} \text{ мм.}$

6) Рассчитаем фактическое значение припуска z_{D44} :

$$z_{D44\phi} = D_{01\phi} - D_{44} = 155 \begin{smallmatrix} +0,8 \\ -2,0 \end{smallmatrix} - 149,8 \pm 0,2 = 5,2 \begin{smallmatrix} +1 \\ -2,2 \end{smallmatrix}$$

2.7.2 Расчет технологических размеров при обработке наружной поверхности $\varnothing 128$ мм.



Рис.2.7.2.1. Размерная схема для определения наружного диаметального размера при $\varnothing 128$ мм.

Решение:

В этой цепи составляющее звено $D_{43} = K_{D2} = 128_{-0,4} \text{ мм.}$ (Рис.2.7.2.1.)

2.7.3 Расчет технологических размеров при обработке отверстия $\varnothing 98$ мм.

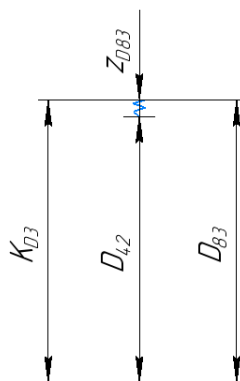


Рис. 2.7.3.1. Размерная схема для определения внутренних размеров при $\varnothing 98$ мм.

Решение:

1) Рассмотрим цепь D_{42}, D_{83}, z_{D83} (Рис.2.7.3.1.)

В этой цепи известно: составляющее звено $D_{83} = K_{D3} = 98^{+0,2}$ и минимальное значение припуска $z_{D83min} = 0,4$ мм.

2) Определим среднее значение D_{83} :

$$D_{83}^c = D_{83} + \frac{HOD_{83} + BOD_{83}}{2} = 98 + \frac{0 + 0,2}{2} = 98,1 \text{ мм.}$$

3) Находим среднее значение z_{D83} :

$$z_{D83}^c = z_{D83min} + \frac{TD_{83} + TD_{42}}{2} = 0,4 + \frac{0,2 + 0,4}{2} = 0,7 \text{ мм.}$$

4) Определим среднее значение звена D_{42} :

$$D_{42}^c = D_{83}^c - z_{D83}^c = 98,1 - 0,7 = 97,4 \text{ мм.}$$

Следовательно: $D_{42} = 97,4^{+0,2}_{-0,2}$.

Необходимо учесть, что для размеров отверстий, формируемых механической обработкой, в качестве номинального принято брать наименьший предельный размер, запишем: $D_{42\phi} = 97,4^{+0,4}$ мм.

5) Определим фактическое значение припуска z_{D83} :

$$z_{D83\phi} = D_{83} - D_{42\phi} = 98^{+0,2} - 97,4^{+0,4} = 0,6^{+0,2}_{-0,4} \text{ мм}$$

2.7.4 Расчет технологических размеров при обработке отверстия $\varnothing 90^{+0,02}$ мм

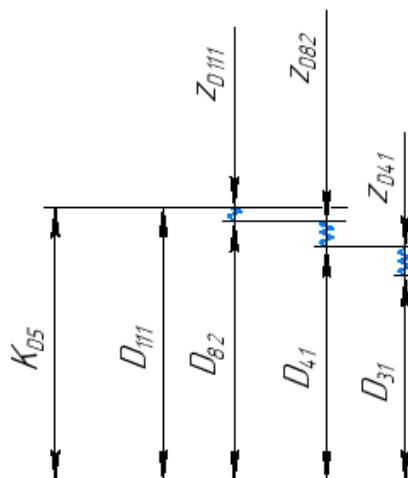


Рис.2.7.4.1. Размерная схема для определения внутренних технологически размеров при $\varnothing 90^{+0,02}$ мм.

Решение:

- 1) Рассмотрим цепь $D_{111}, D_{82}, z_{D111}$ (Рис.2.7.4.2)

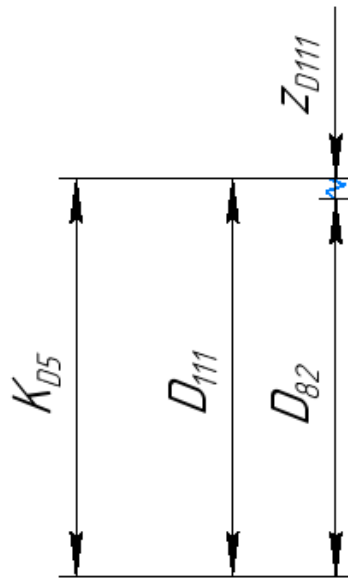


Рис.2.7.4.2. Первая часть размерной схемы для определения внутренних технологических размеров при $\varnothing 90^{+0,02}$ мм.

В этой цепи известно: составляющее звено $D_{111} = K_{D5} = 90^{+0,02}$ и минимальное значение припуска $z_{D111min} = 0,2$ мм.

- 2) Определим среднее значение D_{101} :

$$D_{111}^c = D_{111} + \frac{HOD_{111} + BOD_{111}}{2} = 90 + \frac{0 + 0,02}{2} = 90,01 \text{ мм.}$$

- 3) Находим среднее значение z_{D111} :

$$z_{D111}^c = z_{D111min} + \frac{TD_{111} + TD_{82}}{2} = 0,2 + \frac{0,02 + 0,17}{2} = 0,295 \text{ мм.}$$

- 4) Определим среднее значение звена D_{82} :

$$D_{82}^c = D_{111}^c - z_{D111}^c = 90,01 - 0,295 = 89,715 \text{ мм.}$$

Следовательно: $D_{82} = 89,715^{+0,085}_{-0,085}$ мм.

Необходимо учесть, что для размеров отверстий, формируемых механической обработкой, в качестве номинального принято брать наименьший предельный размер, запишем: $D_{82ф} = 89,895^{+0,17}$ мм.

- 5) Определим фактическое значение припуска z_{D111} :

$$z_{D111} = D_{111} - D_{82\phi} = 90^{+0,02} - 89,715^{+0,17} = 0,295^{+0,02}_{-0,17} \text{ мм.}$$

Решение:

- 1) Рассмотрим цепь D_{82}, D_{41}, z_{D82} (Рис.2.7.4.3.)

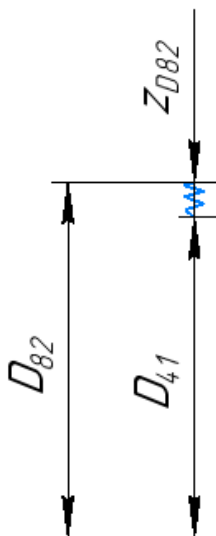


Рис.2.7.4.3. Вторая часть размерной схемы для определения внутренних технологических размеров при $\varnothing 90^{+0,02}$ мм.

В этой цепи известно: составляющее звено $D_{82} = 89,715^{+0,17}$ и минимальное значение припуска $z_{D82min} = 0,4$ мм.

- 2) Находим среднее значение z_{D82} :

$$z_{D82}^c = z_{D82min} + \frac{TD_{82} + TD_{41}}{2} = 0,4 + \frac{0,17 + 0,4}{2} = 0,685 \text{ мм.}$$

- 3) Определим среднее значение звена D_{41} :

$$D_{41}^c = D_{82}^c - z_{D82}^c = 89,715 - 0,685 = 89,03 \text{ мм.}$$

Следовательно: $D_{41} = 89,03^{+0,2}_{-0,2}$ мм.

Необходимо учесть, что для размеров отверстий, формируемых механической обработкой, в качестве номинального принято брать наименьший предельный размер, запишем: $D_{41\phi} = 89,03^{+0,4}$ мм.

- 4) Определим фактическое значение припуска $z_{D82\phi}$:

$$z_{D82\phi} = D_{82} - D_{41\phi} = 89,715^{+0,17} - 89,03^{+0,4} = 0,685^{+0,17}_{-0,4} \text{ мм.}$$

Решение:

1) Рассмотрим цепь D_{41}, D_{31}, z_{D41} (Рис.2.7.4.4.)

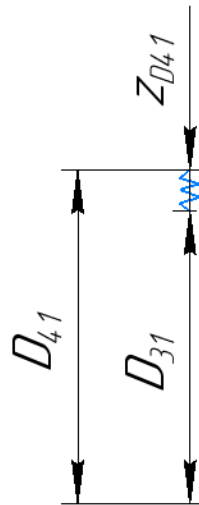


Рис.2.7.4.4. Третья часть размерной схемы для определения внутренних технологических размеров при $\varnothing 90^{+0,02}$ мм.

В этой цепи известно: составляющее звено $D_{41} = 89,03^{+0,4}$ и минимальное значение припуска $z_{D41min} = 1,66$ мм.

2) Находим среднее значение z_{D41} :

$$z_{D41}^c = z_{D41min} + \frac{TD_{41} + TD_{31}}{2} = 1,66 + \frac{0,4 + 0,2}{2} = 1,96 \text{ мм.}$$

3) Определим среднее значение звена D_{31} :

$$D_{31}^c = D_{41}^c - z_{D41}^c = 89,03 - 1,96 = 87,07 \text{ мм.}$$

Принимаем $D_{31} = 85$ мм, так как это диаметр сверла

Следовательно: $D_{31} = 85^{+0,1}_{-0,1}$ мм.

Необходимо учесть, что для размеров отверстий, формируемых механической обработкой, в качестве номинального принято брать наименьший предельный размер, запишем: $D_{31} = 85^{+0,2}$ мм.

4) Определим фактическое значение припуска z_{D41} :

$$z_{D41} = D_{41} - D_{31\phi} = 89,03^{+0,4} - 85^{+0,2} = 4,03^{+0,4}_{-0,2} \text{ мм.}$$

2.7.5 Расчет технологических размеров при обработке отверстия $\varnothing 92$ мм.

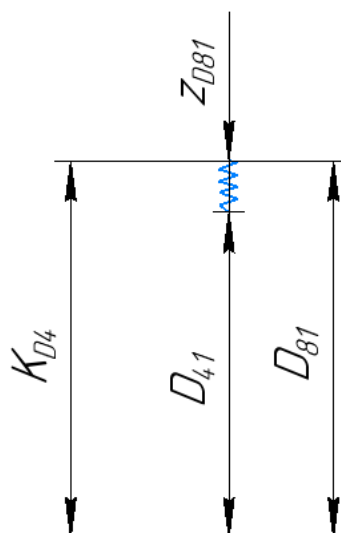


Рис.2.7.5.1. Размерная схема для определения внутренних размеров при $\varnothing 92$ мм.

Решение:

- 1) Рассмотрим цепь D_{81}, D_{41}, z_{D81} (Рис.2.7.5.1.)

В этой цепи известно: составляющее звено $D_{81} = K_{D4} = 92^{+0,2}$ и $D_{41} = 89,03^{+0,4}$, рассчитанное ранее. Определим фактическое значение припуска z_{D81} :

$$z_{D81} = D_{81} - D_{41\phi} = 92^{+0,2} - 89,03^{+0,4} = 2,97_{-0,4}^{+0,2} \text{ мм.}$$

2.7.6 Расчет технологических размеров при обработке отверстий под резьбу М12

Однозвенные цепи (Рис.2.7.6.1):



Рис. 2.7.6.1. Однозвенные цепи.

Размер $D_{52} = K_{D6} = 11^{+0,1}$ мм (Рис. 2.7.6.1.)

Размер $D_{51} = K_{D7} = 124^{+0,2}$ мм (Рис. 2.7.6.1.)

2.8 Определение допусков на технологические продольные размеры

Допуски на продольные размеры в общем случае могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$TA_i = \omega_{ci} + \rho_{и} + \varepsilon_6,$$

где

ω_{ci} – статистическая погрешность, мкм [7, с.80, прил.1]

$\rho_{и}$ – отклонения измерительной базы, мкм [7, с.87, прил.2]

ε_6 – погрешность базирования, мкм [7, с.88, прил.3]

Запишем значения TA_i в таблицу для всех линейных технологических размеров и проведем расчет допусков:

Таблица 2.8.1. Расчет допусков линейных технологических размеров

	ω_{ic} , мм	$\rho_{и}$, мкм	ε_6 , мкм	TA_i , мм
TA_{01}	0,4	20	100	0,52
TA_{11}	0,4	-	100	0,5
TA_{31}	0,2	-	-	0,2
TA_{41}	0,2	-	-	0,2
TA_{42}	0,2	-	-	0,2
TA_{43}	0,2	-	-	0,2
TA_{44}	0,2	-	-	0,2
TA_{45}	0,12	-	-	0,2
TA_{51}	0,12	-	-	0,2
TA_{61}	0,12	-	-	0,2
TA_{81}	0,17	-	-	0,17
TA_{82}	0,17	-	-	0,17
TA_{83}	0,17	-	-	0,17

$$TA_{01} = 0,4 + 0,02 + 0,1 = 0,52 \text{ мм}$$

$$TA_{11} = 0,4 + 0,1 = 0,5 \text{ мм}$$

Оставшиеся значения TA_i будут соответственно равны значениям ω_{ic} .

2.9 Определение минимальных припусков на обработку плоскостей

Формула для определения минимального припуска на обработку плоскости имеет следующий вид:

$$z_{i \min} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1},$$

Где, Rz – шероховатость поверхности, мкм [7, с.87, прил.2];

h – величина дефектного слоя поверхности, мкм [7, с.87, прил.2];

ρ – точность геометрической формы, мкм [7, с.87, прил.3]

Запишем величины $z_{i \min}$ в таблицу 2.9.1 для всех продольных припусков и рассчитаем величину минимальных припусков:

Таблица 2.9.1. Расчет минимальных припусков на линейные технологические размеры

	$Rz_{i-1},$ МКМ	$h_{i-1},$ МКМ	$\rho_{i-1},$ МКМ	$z_{i \min},$ ММ
$z_{11 \min}$	100	80	40	0,220
$z_{31 \min}$	100	80	250	0,430
$z_{41 \min}$	100	80	20	0,200
$z_{44 \min}$	100	80	40	0,220
$z_{82 \min}$	20	25	20	0,065

$$z_{11 \min} = 100 + 80 + 40 = 220 \text{ мкм}$$

$$z_{31 \min} = 100 + 80 + 250 = 430 \text{ мкм}$$

$$z_{41 \min} = 100 + 80 + 20 = 200 \text{ мкм}$$

$$z_{44 \min} = 100 + 80 + 40 = 220 \text{ мкм}$$

$$z_{82 \min} = 20 + 25 + 20 = 65 \text{ мкм}$$

2.10 Расчет продольных технологических размеров

Перед началом расчета технологических размеров необходимо проанализировать технологические размерные цепи, замыкающими звеньями которых являются непосредственно не выдерживаемые конструкторские размеры и проверить возможность их обеспечения с требуемой точностью.

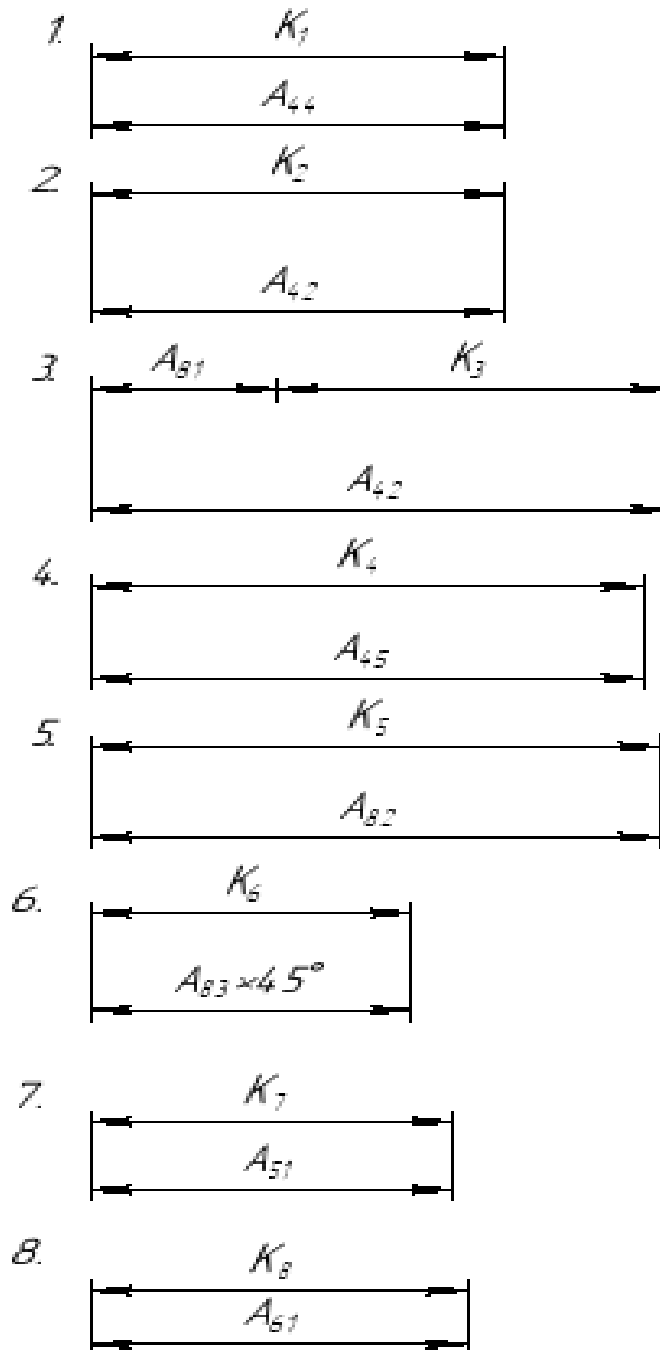


Рис.2.10.1. Размерные цепи продольных технологических размеров с конструкторскими размерами.

Для размерной цепи 1:

$$TK_1 = 1,15 \geq 0,2 = TA_{44};$$

Для размерной цепи 2:

$$TK_2 = 1 \geq 0,2 = TA_{42};$$

Для размерной цепи 3:

$$TK_3 = 1 \geq 0,37 = TA_{81} + TA_{42};$$

Для размерной цепи 4:

$$TK_4 = 1 \geq 0,2 = TA_{45};$$

Для размерной цепи 5:

$$TK_5 = 0,3 \geq 0,17 = TA_{82};$$

Для размерной цепи 6:

$$TK_6 = 0,14 \geq 0,12 = TA_{45};$$

Для размерной цепи 7:

$$TK_7 = 0,43 \geq 0,12 = TA_{51};$$

Для размерной цепи 8:

$$TK_8 = 0,52 \geq 0,12 = TA_{61};$$

Убеждаемся, что спроектированный технологический процесс будет обеспечивать требуемую точность всех конструкторских размеров.

Рассмотрим двухзвенные цепи с конструкторскими размерами, а именно:
№1 – №8.

$$1.A_{44} = K_1 = 190 \pm 0,575 \text{ мм}$$

$$2.A_{42} = K_2 = 170 \pm 0,5 \text{ мм}$$

$$4.A_{45} = K_4 = 165 \pm 0,5 \text{ мм}$$

$$5.A_{82} = K_5 = 4 \pm 0,15 \text{ мм}$$

$$6.A_{83} = K_6 = 0,42 \pm 0,06 \text{ мм}$$

$$7.A_{51} = K_7 = 20 \pm 0,06 \text{ мм}$$

$$8.A_{61} = K_8 = 15 \pm 0,06 \text{ мм}$$

Рассмотрим трехзвенную цепь №3 (Рис.2.10.1) и найдем размер A_{81} :

Среднее значение этого размера будет:

$$A_{81}^c = A_{42}^c - K_3^c;$$

Для начала необходимо найти K_3^c :

$$K_3^c = K_3 + \frac{TA_{42} + TA_{81}}{2} = 168 + \frac{0,2 + 0,17}{2} = 168,185 \text{ мм}$$

$$A_{81}^c = 170 - 168,185 = 1,815 \text{ мм}$$

$$3.A_{81} = 1,815^{+0,085}_{-0,085} \text{ мм}$$

Рассмотрим цепи с припусками, а именно: №9 – №13.

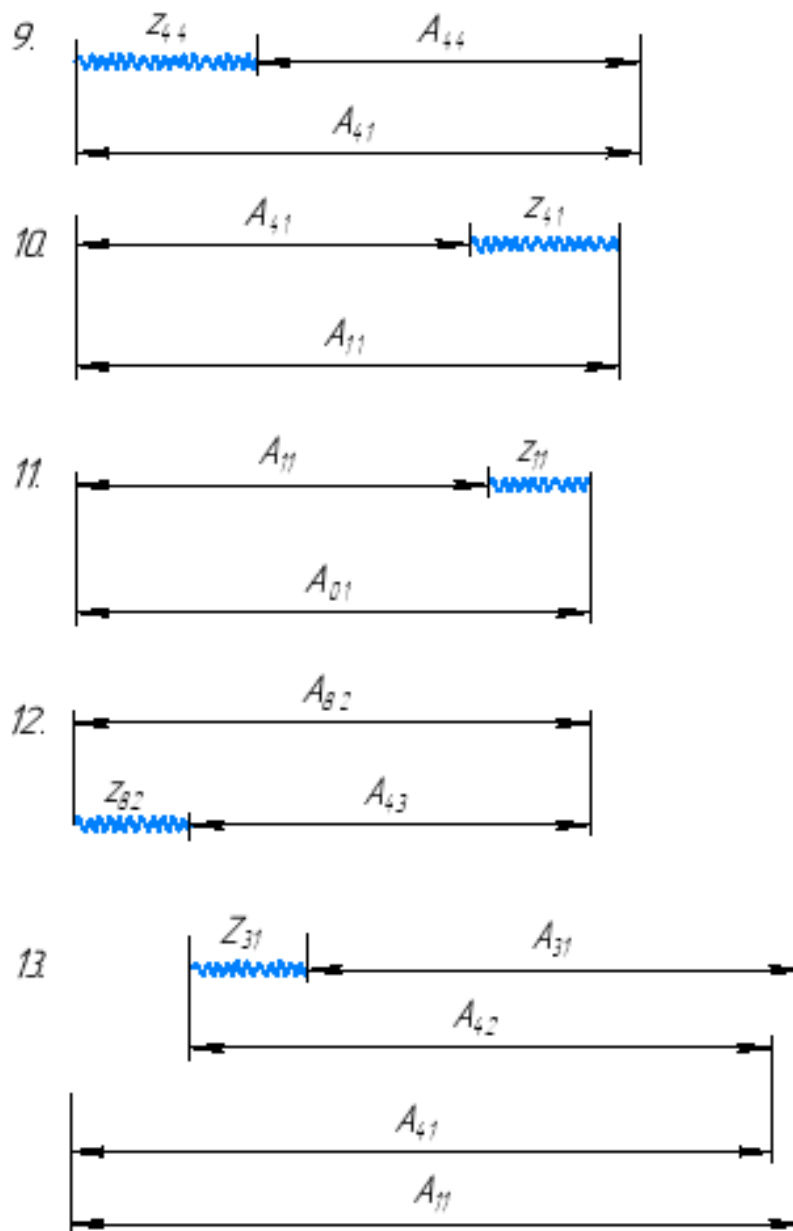


Рис.2.10.2 Размерные цепи продольных технологических размеров с припусками.

9. Рассмотрим цепь №9 (Рис.12) и найдем размер A_{41} :

Среднее значение этого размера будет равно:

$$A_{41}^c = A_{44}^c + z_{44}^c$$

Для начала необходимо определить z_{44}^c :

$$z_{44}^c = z_{44 \min} + \frac{TA_{41} + TA_{44}}{2} = 0,220 + \frac{0,2 + 0,2}{2} = 0,42 \text{ мм}$$

$$A_{41}^c = 190 + 0,42 = 190,42 \text{ мм}$$

Окончательно запишем: $A_{41} = 190,42 \pm 0,1 \text{ мм}$.

Посчитаем фактический припуск z_{44} :

$$z_{44} = A_{41} - A_{44} = 190,42 \pm 0,1 - 190 \pm 0,575 = 0,42_{-0,675}^{+0,675} \text{ мм}$$

10. Рассмотрим цепь 10 (Рис.2.10.2.) и найдем размер A_{11} :

Среднее значение этого размера будет равно:

$$A_{11}^c = A_{41}^c + z_{41}^c$$

Для начала необходимо определить z_{41}^c :

$$z_{41}^c = z_{41 \min} + \frac{TA_{41} + TA_{11}}{2} = 0,2 + \frac{0,2 + 0,5}{2} = 0,55 \text{ мм}$$

$$A_{11}^c = 190,42 + 0,55 = 190,97 \text{ мм}$$

Окончательно запишем: $A_{11} = 190,97 \pm 0,25 \text{ мм}$.

Посчитаем фактический припуск z_{44} :

$$z_{41} = A_{11} - A_{41} = 190,97 \pm 0,25 - 190,42 \pm 0,1 = 0,55_{-0,35}^{+0,35} \text{ мм}$$

11. Рассмотрим цепь 11 (Рис.2.10.2) и найдем размер A_{01} :

Среднее значение этого размера будет равно:

$$A_{01}^c = A_{11}^c + z_{11}^c$$

Для начала необходимо определить z_{11}^c :

$$z_{11}^c = z_{11 \min} + \frac{TA_{11} + TA_{01}}{2} = 0,22 + \frac{0,5 + 0,52}{2} = 0,73 \text{ мм}$$

$$A_{01}^c = 190,97 + 0,73 = 191,7 \text{ мм}$$

Окончательно запишем: $A_{01} = 191,7 \pm 0,26$ мм.

Посчитаем фактический припуск z_{11} :

$$z_{11} = A_{01} - A_{11} = 191,7 \pm 0,26 - 190,97 \pm 0,2 = 0,73^{+0,46}_{-0,46} \text{ мм}$$

12. Рассмотрим цепь 12 (Рис.2.10.2) и найдем размер A_{43} :

Среднее значение этого размера будет равно:

$$A_{43}^c = A_{82}^c - z_{82}^c$$

Для начала необходимо определить z_{82}^c :

$$z_{82}^c = z_{82 \min} + \frac{TA_{82} + TA_{43}}{2} = 0,065 + \frac{0,17 + 0,2}{2} = 0,25 \text{ мм}$$

$$A_{43}^c = 4 - 0,25 = 3,75 \text{ мм}$$

Окончательно запишем: $A_{43} = 3,75 \pm 0,1$ мм.

Посчитаем фактический припуск z_{11} :

$$z_{82} = A_{82} - A_{43} = 4 \pm 0,15 - 3,75 \pm 0,1 = 0,25^{+0,25}_{-0,25} \text{ мм}$$

13. Рассмотрим цепь 13 (Рис.2.10.2.) и найдем размер A_{31} :

Среднее значение этого размера будет равно:

$$A_{31}^c = A_{42}^c + A_{11}^c - A_{41}^c - z_{31}^c$$

Для начала необходимо определить z_{31}^c :

$$z_{31}^c = z_{31 \min} + \frac{TA_{42} + TA_{11} + TA_{41} + TA_{31}}{2} = 0,43 + \frac{0,2 + 0,5 + 0,2 + 0,2}{2} =$$

$= 0,98$ мм

$$A_{31}^c = 170 + 190,97 - 190,42 - 0,98 = 169,57 \text{ мм}$$

Окончательно запишем: $A_{31} = 169,57 \pm 0,1$ мм.

Посчитаем фактический припуск z_{31} :

$$\begin{aligned} z_{31} &= A_{42} + A_{11} - A_{41} - A_{31} = \\ &= 170 \pm 0,5 + 190,97 \pm 0,25 - 190,42 \pm 0,1 - 169,57 \pm 0,1 = 0,98^{+0,95}_{-0,95} \text{ мм} \end{aligned}$$

Таблица 2.10.1. Значения линейных технологических размеров

Обозначение технологического размера	Принятое номинальное значение и предельные отклонения технологического размера, мм.
A_{01}	$191,7 \pm 0,26$
A_{11}	$190,97 \pm 0,25$
A_{31}	$169,57 \pm 0,1$
A_{41}	$190,42 \pm 0,1$
A_{42}	$170 \pm 0,5$
A_{43}	$3,75 \pm 0,1$
A_{44}	$190 \pm 0,575$
A_{45}	$165 \pm 0,5$
A_{51}	$20 \pm 0,06$
A_{61}	$15 \pm 0,06$
A_{81}	$1,815^{+0,085}_{-0,085}$
A_{82}	$4 \pm 0,15$
A_{83}	$0,42 \pm 0,06$

2.11 Выбор режущего инструмента и расчет режимов резания

Подобрать инструмент и рассчитать режимы резания необходимо для внутреннего отверстия детали «Корпус» $\varnothing 90_{+0,02}\text{мм}$ для которой был произведен расчет припусков.

2.11.1 Черновое точение

Резец токарный расточной с пластинами из твердого сплава для обработки глухих отверстий. Резец 26612-85 С.17 Т15К6 ГОСТ 18883-73

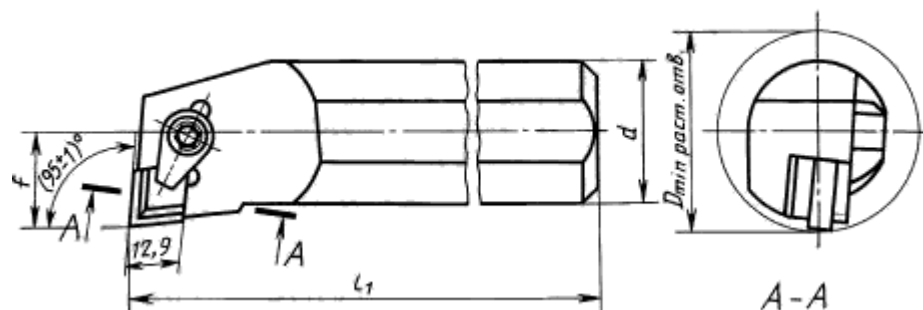


Рис.2.11.1.1. Резец 26612-85 С.17 Т15К6ГОСТ 18883-73

Таблица.2.11.1.1 Характеристика резца 26612-85 С.17 Т15К6ГОСТ 18883-73

Сечение резца, мм	40x32
Общая длина резца, мм	350
Диаметр наименьшего растачиваемого отверстия, мм	63

Глубина резания

При черновом точении принимается равной припуску на механическую обработку.

$$t = 2 \text{ мм [9, с.265]}$$

Подача:

$$S = 0,68 \text{ мм/об [9, с.267, табл.12]}$$

Стойкость:

$$T = 45 \text{ мин [9, с. 268]}$$

1. Расчет скорости резания

При продольном растачивании рассчитывают по эмпирической формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}, \text{ [9, с. 265]}$$

где C_ϑ, x, y, m – коэффициент и показатели степени приведенные в [9, с.269, табл. 17]

$$C_\vartheta = 420, x = 0,15, y = 0,2, m = 0,2$$

$$\vartheta = \frac{420}{45^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,68^{0,2}} = 190,9 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

2. Расчет силы резания.

Силу резания, принято раскладывать на составляющие силы, направленные по осям координат станка (тангенциальную P_z , радиальную P_y и осевую P_x).

При растачивании эти составляющие можно найти по формуле [9, с.271]:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot \vartheta^n \cdot K_p$$

где, C_p, x, y, n – постоянная и показатели степени для конкретных условий обработки принимаемые из [9, с.273, табл.22], коэффициент K_p рассчитывается следующим образом:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}.$$

Рассчитываем составляющую силы P_z .

Коэффициент K_{Mp} рассчитывается по формуле [9, с.264, табл.9]: $K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$,

при этом $n = 1$, так как обработка ведется резцами.

$$K_{Mp} = \left(\frac{980}{750}\right)^1 = 1,3$$

$$K_{\varphi p} = 0,89 [2, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\gamma p} = 1,25 [2, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_p = 1,3 \cdot 0,89 \cdot 1,25 \cdot 1 = 1,446$$

$$C_p = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2^1 \cdot 0,68^{0,75} \cdot 190,9^{-0,15} \cdot 1,446 = 2955 \text{ Н}$$

Рассчитываем составляющую силы P_y .

Коэффициент K_{Mp} рассчитывается по формуле [9, с.264, табл.9]: $K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$,

при этом $n = 1$, так как обработка ведется резцами.

$$K_{Mp} = \left(\frac{980}{750}\right)^1 = 1,3$$

$$K_{\varphi p} = 0,5 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\gamma p} = 2 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\lambda p} = 1,25 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_p = 1,3 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 1,25 = 1,625$$

$$C_p = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 2^{0,9} \cdot 0,68^{0,6} \cdot 190,9^{-0,3} \cdot 1,625 = 1210 \text{ Н}$$

Рассчитываем составляющую силы P_x .

Коэффициент K_{Mp} рассчитывается по формуле [9, с.264, табл.9]: $K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$,

при этом $n = 1$, так как обработка ведется резцами.

$$K_{Mp} = \left(\frac{980}{750}\right)^1 = 1,3$$

$$K_{\varphi p} = 1,17 [2, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\gamma p} = 2 [2, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\lambda p} = 0,85 [2, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_p = 1,3 \cdot 1,17 \cdot 2 \cdot 0,85 = 2,586$$

$$C_p = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 0,5^1 \cdot 0,3^{0,5} \cdot 276,91^{-0,4} \cdot 2,586 = 1769 \text{ Н}$$

3. Расчет мощности резания.

Расчет мощности резания осуществляют согласно формуле [9, с.371]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60},$$

$$N = \frac{2955 \cdot 190,9}{1020 \cdot 60} = 9,2 \text{ кВт}$$

4. Расчет частоты вращения шпинделя.

Определяем частоту вращения используя формулу:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d},$$

$$n = \frac{1000 \cdot 276,91}{3,14 \cdot 128} = 688,97 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

2.11.2 Точение канавки

Резец токарный расточной с пластинами из твердого сплава для обработки глухих отверстий. Резец Sandvick Coromant LAG123K13-50B T15K6 ГОСТ 18883-73

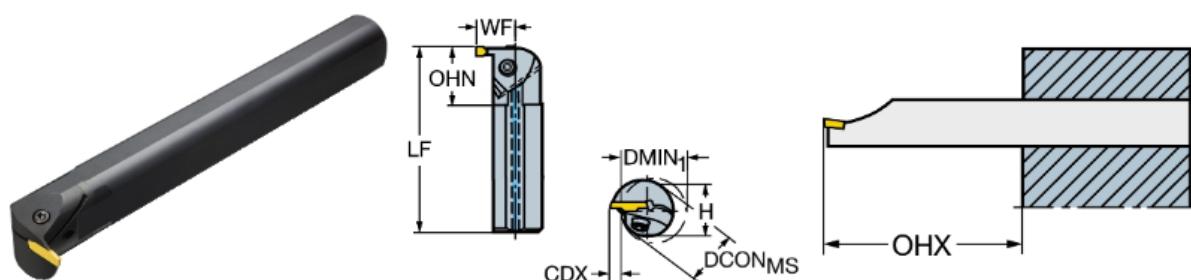


Рис. 2.11.2.1. Резец Sandvick Coromant LAG123K13-50B T15K6 ГОСТ 18883-73

Таблица.2.11.2.1 Характеристика резца Sandvick Coromant LAG123K13-50B T15K6 ГОСТ 18883-73

Сечение резца, мм	60
Максимальная глубина растачиваемого отверстия, мм	200
Общая длина резца, мм	350
Диаметр наименьшего растачиваемого отверстия, мм	60
Радиус при вершине резца, мм	1,6

Глубина резания

$$t = 1 \text{ мм [9, с.265]}$$

Подача:

$$S = 0,29 \text{ мм/об [9, с.268, табл.14]}$$

Стойкость:

$$T = 45 \text{ мин [9, с. 268]}$$

1. Расчет скорости резания

При протачивании канавки рассчитывают по эмпирической формуле:

$$v = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot S^y},$$

где C_v, x, y, m – коэффициент и показатели степени приведенные в [9, с.269, табл. 17], поправочный коэффициент K_v . [9, с.68]

$$K_v = K_{mV} \cdot K_{nV} \cdot K_{HV},$$

где K_{mV} – коэффициент учитывающий влияние материала заготовки, K_{nV} – коэффициент учитывающий состояние поверхности и K_{HV} – коэффициент учитывающий материал режущего инструмента.

$$K_{mV} = 0,4 \text{ [9, с.262, табл.1]},$$

$$K_{nV} = 0,9 \text{ [9, с.263, табл.5]},$$

$$K_{HV} = 1 \text{ [9, с.263, табл.6]},$$

$$K_v = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,36$$

$$C_v = 420, y = 0,2, m = 0,2$$

$$v = \frac{420 \cdot 0,36}{45^{0,2} \cdot 0,2^{0,2}} = 90,5 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

2. Расчет силы резания.

При точении канавки составляющие силы резания можно найти по формуле [9, с.271]:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p$$

где, C_p, x, y, n – постоянная и показатели степени для конкретных условий обработки принимаемые из [9, с.273, табл.22], коэффициент K_p рассчитывается следующим образом:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}.$$

Рассчитываем составляющую силы P_z .

Коэффициент K_{Mp} рассчитывается по формуле [9, с.264, табл.9]: $K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$,

при этом $n = 1$, так как обработка ведется резцами.

$$K_{Mp} = \left(\frac{980}{750}\right)^1 = 1,3$$

$$K_{\varphi p} = 0,89 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\gamma p} = 1,25 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\lambda p} = 1 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_p = 1,3 \cdot 0,89 \cdot 1,25 \cdot 1 = 1,446$$

$$C_p = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1^1 \cdot 0,29^{0,75} \cdot 90,5^{-0,15} \cdot 1,446 = 872,149 \text{ Н}$$

Рассчитываем составляющую силы P_y .

Коэффициент K_{Mp} рассчитывается по формуле [9, с.264, табл.9]: $K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$,

при этом $n = 1$, так как обработка ведется резцами.

$$K_{Mp} = \left(\frac{980}{750}\right)^1 = 1,3$$

$$K_{\varphi p} = 0,5 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\gamma p} = 2 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\lambda p} = 1,25 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_p = 1,3 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 1,25 = 1,625$$

$$C_p = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 1^{0,9} \cdot 0,29^{0,6} \cdot 90,5^{-0,3} \cdot 1,625 = 486,3 \text{ Н}$$

Рассчитываем составляющую силы P_x .

Коэффициент K_{Mp} рассчитывается по формуле [9, с.264, табл.9]: $K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$, при этом $n = 1$, так как обработка ведется резцами.

$$K_{Mp} = \left(\frac{980}{750}\right)^1 = 1,3$$

$$K_{\varphi p} = 1,17 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\gamma p} = 2 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_{\lambda p} = 0,85 [9, \text{с.275, табл.23}]$$

$$K_p = 1,3 \cdot 1,17 \cdot 2 \cdot 0,85 = 2,586$$

$$C_p = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 1^1 \cdot 0,29^{0,5} \cdot 90,5^{-0,4} \cdot 2,586 = 778,7 \text{ Н}$$

3. Расчет мощности резания.

Расчет мощности резания осуществляют согласно формуле [9, с.371]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60},$$

$$N = \frac{872,149 \cdot 90,5}{1020 \cdot 60} = 1,29 \text{ кВт}$$

4. Расчет частоты вращения шпинделя.

Определяем частоту вращения используя формулу:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d},$$

$$n = \frac{1000 \cdot 90,5}{3,14 \cdot 128} = 225,2 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

2.11.3 Чистовое точение

Резец токарный расточной с пластинами из твердого сплава для обработки глухих отверстий. Резец 28101-2015 T15K6 ГОСТ 18883-73

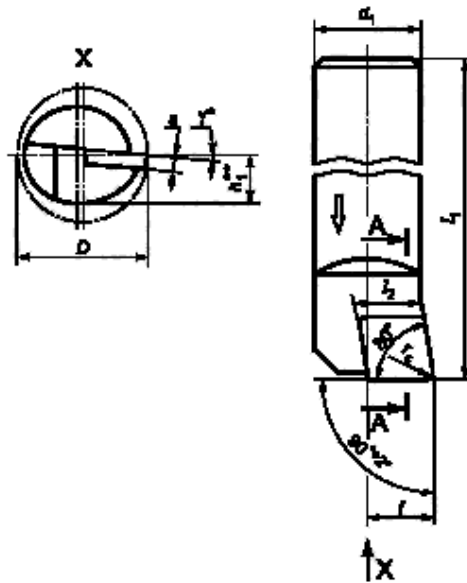


Рис. 2.11.3.1. Резец 28101-2015 T15K6 ГОСТ 18883-73

Таблица 2.11.3.1. Характеристика резца 28101-2015 T15K6 ГОСТ 18883-73

Сечение резца, мм	40x32
Общая длина резца, мм	400
Диаметр наименьшего растачиваемого отверстия, мм	80
Радиус при вершине резца, мм	1,6

Глубина резания

При чистовой обработке выбирается, в зависимости от требований точности размеров и шероховатости обработанной поверхности.

$$t = 0,3 \text{ мм [9, с.286]}$$

Подача:

$$S = 0,29 \text{ мм/об [9, с.265, табл.14]}$$

Стойкость:

$$T = 45 \text{ мин [9, с. 268]}$$

1. Расчет скорости резания

При продольном растачивании рассчитывают по эмпирической формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y},$$

где C_v, x, y, m – коэффициент и показатели степени приведенные в [9, с.269, табл. 17]

$$C_v = 420, x = 0,15, y = 0,2, m = 0,2$$

$$v = \frac{420}{45^{0,2} \cdot 0,3^{0,15} \cdot 0,29^{0,2}} = 301 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

2. Расчет силы резания.

Силу резания, принято раскладывать на составляющие силы, направленные по осям координат станка (тангенциальную P_z , радиальную P_y и осевую P_x).

При растачивании эти составляющие можно найти по формуле [9, с.271]:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p$$

где, C_p, x, y, n – постоянная и показатели степени для конкретных условий обработки принимаемые из [9, с.273, табл.22], коэффициент K_p рассчитывается следующим образом:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}.$$

Рассчитываем составляющую силы P_z .

Коэффициент K_{Mp} рассчитывается по формуле [9, с.264, табл.9]:

$$K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \text{ при этом } n = 1, \text{ так как обработка ведется резцами.}$$

$$K_{Mp} = \left(\frac{980}{750} \right)^1 = 1,3$$

$$K_{\varphi p} = 0,89 \text{ [9, с.275, табл.23]}$$

$$K_{\gamma p} = 1,25 \text{ [9, с.275, табл.23]}$$

$$K_{\lambda p} = 1 \text{ [9, с.275, табл.23]}$$

$$K_p = 1,3 \cdot 0,89 \cdot 1,25 \cdot 1 = 1,446$$

$$C_p = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,3^1 \cdot 0,29^{0,75} \cdot 301^{-0,15} \cdot 1,446 = 218,486 \text{ Н}$$

Рассчитываем составляющую силы P_y .

Коэффициент K_{Mp} рассчитывается по формуле [9, с.264, табл.9]:

$$K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \text{ при этом } n = 1, \text{ так как обработка ведется резцами.}$$

$$K_{Mp} = \left(\frac{980}{750} \right)^1 = 1,3$$

$$K_{\varphi p} = 0,5 [9, \text{ с.275, табл.23}]$$

$$K_{\gamma p} = 2 [9, \text{ с.275, табл.23}]$$

$$K_{\lambda p} = 1,25 [9, \text{ с.275, табл.23}]$$

$$K_p = 1,3 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 1,25 = 1,625$$

$$C_p = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 0,3^{0,9} \cdot 0,29^{0,6} \cdot 301^{-0,3} \cdot 1,625 = 114,75 \text{ Н}$$

Рассчитываем составляющую силы P_x .

Коэффициент K_{Mp} рассчитывается по формуле [9, с.264, табл.9]:

$$K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \text{ при этом } n = 1, \text{ так как обработка ведется резцами.}$$

$$K_{Mp} = \left(\frac{980}{750} \right)^1 = 1,3$$

$$K_{\varphi p} = 1,17 [9, \text{ с.275, табл.23}]$$

$$K_{\gamma p} = 2 [9, \text{ с.275, табл.23}]$$

$$K_{\lambda p} = 0,85 [9, \text{ с.275, табл.23}]$$

$$K_p = 1,3 \cdot 1,17 \cdot 2 \cdot 0,85 = 2,586$$

$$C_p = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 0,3^1 \cdot 0,29^{0,5} \cdot 301^{-0,4} \cdot 2,586 = 144,5 \text{ Н}$$

1. Расчет мощности резания.

Расчет мощности резания осуществляют согласно формуле [9, с.371]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60},$$

$$N = \frac{218,486 \cdot 301}{1020 \cdot 60} = 1,075 \text{ кВт}$$

2. Расчет частоты вращения шпинделя.

Определяем частоту вращения используя формулу:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d},$$

$$n = \frac{1000 \cdot 301}{3,14 \cdot 128} = 748,905 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

2.11.4 Точение фаски

Резец проходной отогнутый - T15K6 - 16x25x140 ГОСТ 18868-73

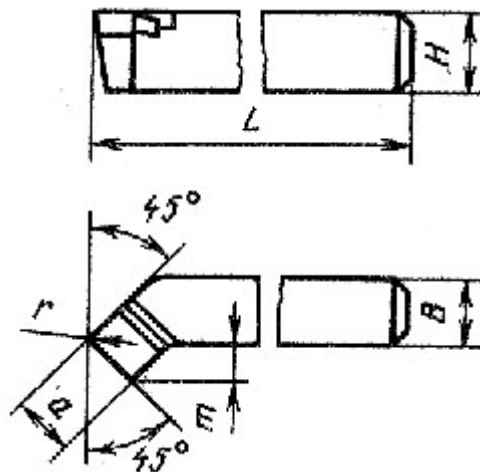


Рис. 2.11.4.1. Резец проходной отогнутый - T15K6 - 16x25x140 ГОСТ 18868-73

Так как при точении фасок показатели требуемой мощности очень малы, расчет режима резания не производится.

2.11.5 Центрирование

Сверло 2317-0007 ГОСТ 14952-75 тип А для центровочных отверстий 60° без предохранительного конуса.

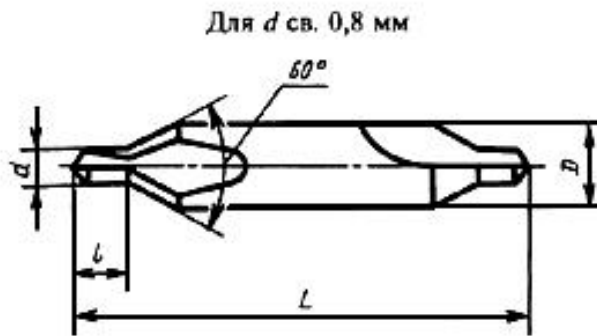


Рис. 2.11.5.1. Сверло 2317-0007 ГОСТ 14952-75

Так как при центрировании показатели требуемой мощности очень малы, расчет режима резания не производится.

2.11.6 Сверление

Спиральное сверло с коническим хвостовиком ГОСТ 10903-77 с диаметром $\varnothing 85$ мм.

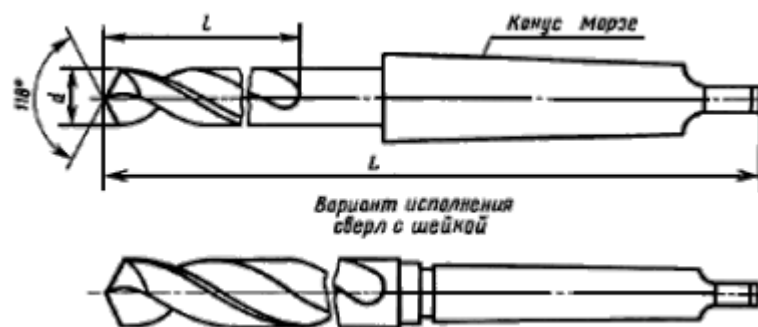


Рис. 2.11.6.1. Сверло ГОСТ 10903-77

Глубина резания:

При сверлении глубина резания : $t = 0,5 \cdot D$. [9, с.277, табл. 25]

$$t = 0,5 \cdot 85 = 42,5.$$

Подача:

$$S = 0,22 \text{ мм/об.}$$

1.Скорость резания рассчитывается по формуле [9, с.276]:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v$$

где, C_v , m , y – коэффициенты приведенные в таблице 28 [9, с.278]

$$C_v = 9,8, q = 0,4, y = 0,5, m = 0,2$$

K_v – общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания. Рассчитывается по формуле [9, с.276]:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Иv} \cdot K_{tv},$$

K_{Mv} – коэффициент на обрабатываемый материал [9, с.262, табл.3]

$K_{Иv}$ – коэффициента на инструментальный материал [9, с.276]

K_{tv} – коэффициент, учитывающий глубину сверления [9, с.280, табл.31]

$$K_{Mv} = 1$$

$$K_{Иv} = 1,16$$

$$K_{tv} = 0,6$$

$$T = 20 [9, с.279, табл.30]$$

$$K_v = 1 \cdot 1,16 \cdot 0,6 = 0,696$$

$$v = \frac{9,8 \cdot 14^{0,4}}{20^{0,2} \cdot 0,22^{0,5}} \cdot 0,696 = 22,955 \text{ м/мин}$$

2. Крутящий момент, Н · м рассчитывают по формуле [9, с.277]:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p$$

C_M , q , y – коэффициенты приведенные в [9, с.281, табл.32]

Коэффициент K_p рассчитывается по формуле [9, с.264, табл.9]

$$C_M = 0,0345$$

$$q = 2$$

$$y = 0,8$$

$$K_p = K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{980}{750} \right)^1 = 1,3$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 14^2 \cdot 0,22^{0,8} \cdot 1,3 = 26,179 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3. Мощность резания:

Мощность резания рассчитывается по формуле [9, с.280] :

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750},$$

где n – частота вращения инструмента или заготовки, об/мин [9, с.280]:

$$n = \frac{1000 \cdot \vartheta}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 22,955}{3,14 \cdot 14} = 522,179 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

$$N_e = \frac{26,179 \cdot 522,179}{9750} = 1,4 \text{ кВт}$$

На основании проведенных расчетов режимов резания, было выявлено, что требуемая мощность для обработки составила 9,2 кВт.

Далее необходимо произвести подбор оборудования, на основании полученной требуемой мощности.

2.12 Выбор оборудования

1. Для операций чернового точения подбираем токарный станок:
Токарно-винторезный станок 16К30 класс точности станка по ГОСТ 8-77.

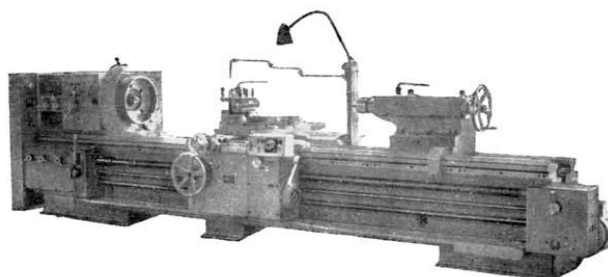


Рис.2.12.1. Токарно-винторезный станок 16К30 класс точности станка по ГОСТ 8-77.

Таблица 2.12.1. Характеристики 16К30:

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над станиной, мм	630
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над суппортом, мм	350
Мощность электродвигателя, кВт	13
Количество инструментов, устанавливаемых в резцедержатель	4
Сечение резца	32x32
Диапазон скоростей продольных подач	0,055...1,2
Диапазон скоростей поперечных подач	0,023...0,5
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки	1000/1500/3000

2. Для чистового точения выбираем станок с ЧПУ.

16K20Ф3С32 Станок токарный патронно-центровой с числовым программным управлением. Предназначен для токарной обработки наружных поверхностей диаметром до 400 мм и внутренних длиной до 1000 мм.

Область применения: мелкосерийное производство.



Рис.2.12.2. Станок токарный патронно-центровой с ЧПУ 16K20Ф3С32.

Таблица 2.12.2. Характеристики 16K20Ф3С32:

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над станиной, мм	400
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над суппортом, мм	220
Мощность электродвигателя, кВт	20
Количество инструментов, устанавливаемых в резцедержатель	6
Сечение резца	32x32
Диапазон скоростей продольных подач	3...2000
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки	1000

3. Для шлифования выбираем внутришлифовальный станок.
Внутришлифовальный станок с ЧПУ I-grind 200D CNC.



Рис.2.12.3. Внутришлифовальный станок с ЧПУ I-grind 200D CNC.

Таблица 2.12.3. Характеристики внутришлифовального станка с ЧПУ I-grind 200D CNC.

Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	6-200
Максимальная глубина шлифования, мм	200
Максимальный диаметр обрабатываемой детали над столом, мм	400
Частота вращения шпинделя, об/мин	0 - 550
Мощность шлифовального круга, кВт	1,5
Мощность шлифовальной бабки, кВт	0,75
Максимальный ход стола, мм	400

4. Для отрезания заготовки выбираем станок.
MBS-910CS-Ленточнопильный станок, диаметр круглой заготовки Ø225



Рис.2.12.4. MBS-910CS-Ленточнопильный станок, диаметр круглой заготовки Ø225.

Таблица 2.12.4. Характеристики MBS-910CS-Ленточнопильный станок,
диаметр круглой заготовки Ø225

Диаметр отрезаемой заготовки, мм	225
Максимальная длина заготовки, мм	300
Скорость движения полотна, м/мин	35 - 70
Высота рабочего стола, мм	980
Выходная мощность, кВт	1,1
Потребляемая мощность, кВт	2,1
Зона обработки при 45°, мм	160,140, 115x115
Сплошное сечение, мм	150
Размеры ленточного полотна, мм	27x0,9x2455
Масса, кг	220

2.13 Нормирование

Норма времени выполнения операций на станках с ЧПУ, при условии использования одного станка, включает в себя подготовительно – заключительное время, т.е. время, затраченное на подготовку к выполнению работы и действий, связанных с ее окончанием и штучное время, отводимое на изготовление единицы продукции.

$$H_{вр} = T_{пз} + T_{шт}$$

$T_{шт}$ – определяется из формулы [10, с.5]

$$T_{шт} = T_{оп} \left(1 + \frac{T_{обс} + T_{отл}}{100} \right)$$

где $T_{оп}$ – оперативное время, мин; $T_{обс}$ и $T_{отл}$ – время на обслуживание рабочего места и время на отдых и личные нужды соответственно, % от $T_{оп}$ (4-8%).

$$T_{оп} = T_a + T_b,$$

здесь T_a – время автоматической работы станка, мин; T_b – время вспомогательной ручной работы, мин.

Производим расчет времени автоматической работы, представляющего собой совокупность основного и вспомогательного времени работы станка:

$$T_a = T_{oa} + T_{ва},$$

где T_{oa} – основное время автоматической работы, мин; $T_{ва}$ – вспомогательное время автоматической работы, мин.

Расчет основного времени автоматической работы станка:

$$T_{oa} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_{Mi}},$$

L_i – длина пройденного пути инструментом, при обработке заготовки, мм

S_{Mi} – рабочая минутная подача, на обрабатываемом участке, мм/мин.

Обработка инструментом ПИ1:

Исходя из составленной расчетной технологической карты рассчитана суммарная длина пройденного пути инструментом, при обработке заготовки, она составила L_i

При точении канавки резец прошел $L_i = 6,825$ мм

$$S_{Mi} = n \cdot S$$

где n – частота вращения вала шпинделя на данной операции;

S – подача инструмента, выбранная для данной операции.

$$S_{Mi} = 225,2 \cdot 0,29 = 65,31 \text{ мм/об}$$

$$T_{oa1} = \frac{6,825}{65,31} = 0,105 \text{ мин}$$

При чистовом точении отверстия резец прошел $L_i = 170,375$ мм

$$S_{Mi} = n \cdot S$$

где n – частота вращения вала шпинделя на данной операции;

S – подача инструмента, выбранная для данной операции.

$$S_{Mi} = 748,905 \cdot 0,29 = 217,182 \text{ мм/об}$$

$$T_{oa2} = \frac{170,375}{217,182} = 0,784 \text{ мин}$$

При чистовом точении углубления резец прошел $L_i = 8,105$ мм

$$S_{Mi} = n \cdot S$$

где n – частота вращения вала шпинделя на данной операции;

S – подача инструмента, выбранная для данной операции.

$$S_{Mi} = 225,2 \cdot 0,29 = 65,31 \text{ мм/об}$$

$$T_{oa3} = \frac{8,105}{65,31} = 0,124 \text{ мин}$$

$$T_{oa} = 0,105 + 0,784 + 0,124 = 1,013 \text{ мин}$$

Расчет времени автоматической вспомогательной работы станка:

$$T_{ва} = T_{вха} + T_{ост}$$

где, $T_{вха}$ – время автоматических вспомогательных ходов, мин; $T_{ост}$ – время технологических пауз, мин.

$$T_{\text{вхa}} = \frac{L_{\text{хх}}}{S_{\text{ум}}}$$

$L_{\text{хх}}$ – длина пути проходимого на холостом ходу, мм; $S_{\text{ум}}$ – ускоренная минутная подача, мм/мин.

Длина пути, проходимого на холостом ходу находим из расчетно технологической карты.

$$L_{\text{хх}} = 752,522 \text{ мм}$$

$$T_{\text{вхa}} = \frac{752,522}{2000} = 0,376 \text{ мин}$$

$$T_{\text{ост}} = 0 \text{ мин}$$

$$T_{\text{вa}} = 0,376 \text{ мин}$$

Расчет времени автоматической работы:

$$T_{\text{a}} = 0,282 + 0,376 = 0,658 \text{ мин}$$

Производим расчет времени вспомогательной ручной работы, представляющего собой совокупность времени на снятие и установку $T_{\text{вy}}$, времени на выполнение операций $T_{\text{вo}}$ и времени на контрольные измерения $T_{\text{ви}}$:

$$T_{\text{в}} = T_{\text{вy}} + T_{\text{вo}} + T_{\text{ви}},$$

$$T_{\text{вy}} = 0,75 \text{ мин [10, с.59, карта 7]}$$

$$T_{\text{вo}} = 0$$

$$T_{\text{ви}} = 0,1 \text{ мин [10, с.84,88, карта 15]}$$

$$T_{\text{в}} = 0,75 + 0,1 + 0 = 0,85 \text{ мин}$$

Расчет оперативного времени:

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{a}} + T_{\text{в}} = 0,658 + 0,85 = 1,508 \text{ мин}$$

Расчет штучного времени:

$$T_{\text{обс}} + T_{\text{отл}} = 0,08 \cdot T_{\text{оп}} = 0,08 \cdot 1,508 = 0,121 \text{ мин}$$

$$T_{\text{шт}} = 1,508 \cdot (1 + 0,08) = 1,629 \text{ мин}$$

Расчет нормы времени:

$$H_{\text{вр}} = T_{\text{пз}} + T_{\text{шт}}$$

$$T_{пз} = T_{оп}$$

$$T_{пз} = 1,508 \text{ мин}$$

$$H_{вр} = 1,508 + 1,629 = 3,137 \text{ мин}$$

Выводы по разделу

В результате выполнения технологической части был разработан технологический процесс изготовления детали типа «Корпус». В ходе разработки были проведены следующие действия: выбор заготовки и оценка технологичности детали в целом, моделирование маршрута обработки в условиях мелкосерийного производства. Рассчитаны продольные и диаметральные припуски на механическую обработку и режимы резания. На основании полученных значений режимов резания, произведен подбор оборудования и режущего инструмента, составлена расчетная технологическая и операционная карта, а также карта наладки. Определена норма времени выполнения операций на станках с ЧПУ.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4А6В	Кузнецову Максиму Алексеевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов исследовательской работы (ИР): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (ИР)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (ИР)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИР)	Расчет: Расчет бюджетной стоимости ИР по разработке виброгасителя с квазиулевым жесткостью
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности (ИР)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет ИР
5. Основные показатели эффективности ИР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н., доцент		12.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4А6В	Кузнецов Максим Алексеевич		12.04.2020

Введение

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование коммерческой ценности конечного продукта, производимых в рамках ИР. Коммерческая ценность проекта определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными проектами, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет исследовательской работы, какое время будет необходимо для продвижения проекта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной эффективности исследования.

Цель работы – разработка виброзащитного устройства для эффективного демпфирования колебаний. В качестве исследуемого метода, выступает метод динамического виброгашения. Для повышения эффективности данного метода необходимо разработать гидравлическую схему устройства, позволяющую изменять параметры с помощью гидравлической аппаратуры, чтобы эффективно демпфировать колебания.

3.1 Анализ конкурентных технических решений

В процессе работы рассматривались три варианта реализации данного устройства:

Вариант 1 – Пружинный виброизолятор с демпфером в маятниковом подвесе;

Вариант 2 – Динамический гаситель;

Вариант 3 – Виброгаситель с квазиулевым жесткостью.

Детальный анализ конструктивного исполнения необходим, т.к. каждый тип конструктивного исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 1. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 3.1.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Возможность внедрения устройства в единую систему автоматики	0,11	2	3	5	0,22	0,33	0,55
Удобство в эксплуатации	0,06	1	2	4	0,06	0,12	0,24
Стабильность срабатывания	0,09	2	4	5	0,18	0,36	0,54
Контроль времени задержки коммутации без подключения дополнительного оборудования	0,1	1	4	5	0,1	0,4	0,5
Простота конструкции и ремонтпригодность	0,12	4	3	5	0,48	0,36	0,6
Компактность	0,16	2	3	5	0,32	0,48	0,8
Безопасность	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,15	2	3	5	0,3	0,45	0,75
Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	3	4	5	0,21	0,28	0,35
Затраты на ремонт	0,04	3	4	3	0,12	0,16	0,12
Итого	1	24	35	46	2,39	3,44	4,85

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3,$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); Б_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант устройства №3 является наиболее предпочтительным и является наиболее выгодным и эффективным типом исполнения готового устройства.

3.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 3.2.1 – SWOT-анализ

	Strengths (сильные стороны) S1. Техническая простота конструкции; S2. Возможность демпфирования колебаний от усилия, возникающего под некоторым углом; S3. Возможность регулирования параметров гидравлического оборудования; S4. Возможность демпфирования колебаний на резонансном режиме; S5. Широкая применимость устройства виброзащиты; S6. Высокая чувствительность метода; S7. Возможность внедрения устройства в производство.	Weaknesses (слабые стороны) W1. Большое количество гидравлического оборудования. W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации W3. Не проработаны вопросы выхода на рынок W4. Сложность и необходимость индивидуального подхода для подключения гидравлического оборудования.
Opportunities (возможности) O1. Новые технологии демпфирования колебаний. O2. Отсутствие выброса в окружающую среду вредных веществ. O3. Требования к повышению качества демпфирования колебаний. O4. Эффективное демпфирование колебаний на резонансном режиме.	Получение нового, экологичного, высококачественного устройства для демпфирования колебаний.	Трудозатратное, дорогостоящее устройство виброзащиты с использованием новых технологий.

Продолжение табл. 3.2.1.

Threats (угрозы) Т1. Незаинтересованность покупателей. Т2. Отсутствие заинтересованных инвесторов проекта. Т3. Узкоспециализированное направление.	Высокая конкуренция компенсируется техническими возможностями устройства.	Ввиду отсутствия популярности и трудозатратности проекта, а также его обслуживания может наблюдаться низкий спрос.
--	---	--

Таблица 3.2.2 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
O1	+	+	-	+	+	-	+
O2	-	-	-	-	+	-	+
O3	+	+	+	+	+	+	+
O4	+	+	+	+	+	+	-

Таблица 3.2.3 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3	W4
O1	-	-	-	-
O2	+	-	-	-
O3	+	-	-	-
O4	-	-	-	+

Таблица 3.2.4 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
T1	-	-	+	-	-	-	+
T2	-	-	-	-	+	-	+
T3	-	+	+	+	-	-	+

Таблица 3.2.5 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3	W4
T1	+	-	-	+
T2	+	+	+	+
T3	+	+	+	+

В результате проведенных оценки конкурентоспособности и SWOT – анализа можно сделать вывод, что вариант устройства №3 является наиболее предпочтительным, выгодным и эффективным типом исполнения готового устройства по сравнению с вариантами №1 и №2. Среди сильных сторон наибольший вес имеет возможность демпфирования колебаний от усилия, возникающего под некоторым углом. Среди слабых сторон - большое количество гидравлического оборудования.

3.3 Планирование научно-исследовательских работ

3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках проектирования;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов проектирования.

Для выполнения данного проекта необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 7.

Таблица 3.3.1.1 – Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
			Инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель
Теоретические исследования	5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер
	6	Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
			Инженер
Контроль и координирование проекта	8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка принципиальной схемы	Инженер
	10	Технико-экономические расчеты	Инженер
	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки проекта составляется из трудовых затрат, поэтому важно определить трудоемкость работ всех участников разработки проекта.

Несмотря на то, что трудоемкость зависит от трудно учитываемых параметров, т.е. носит вероятностный характер, ее можно определить экспертным путем, в «человеко-днях». Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожі}$ определяется по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5},$$

где t_{mini} – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

Где $Ч_i$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 8.

3.4 Разработка графика проведения проектирования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого

необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

где $k_{кап}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кап.рук} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кап.инж} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кап}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Составление и утверждение технического задания»:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{min\ i} + 2 \cdot t_{max\ i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел. - дн.},$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{ч} = \frac{3,8}{1} = 3,8 \text{ раб. дн.},$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,56$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 3,8 \cdot 1,56 = 5,93 \approx 6 \text{ кал. дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{кал.рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 3,8 \cdot 1,28 = 5,93 \text{ кал. дн.}$$

Все полученные значения сводятся в таблицу 3.4.1.

Таблица 3.4.1 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительнос ть работ в рабочих днях T_{pi}		Длительнос ть работ в календарн ых днях T_{ki}	
	$t_{min},$ чел-дни		$t_{max},$ чел-дни		$t_{ож},$ чел-дни					
	Руково дитель	Инжене р	Руково дитель	Инжене р	Руково дитель	Инжене р	Руково дитель	Инжене р	Руково дитель	Инжене р
Составление и утверждение технического задания	6	-	7	-	6,4	-	6,4	-	9	-
Выбор направления исследований	5	3	7	5	5,8	4,2	2,9	2,1	4	3
Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4
Календарное планирование работ по проекту	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8	-
Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	-	12	-	14	-	12,8	-	12,8	-	20
Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6	-	8
Оценка эффективности полученных результатов	4	1	6	5	4,8	2,6	2,4	1,3	4	2
Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8	-
Разработка принципиальной схемы	5	3	7	5	5,8	3,8	5,8	3,8	8	6
Технико- экономические расчеты	-	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	6
Составление пояснительной записки	-	6	-	8	-	6,8	-	6,8	-	11

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

Таблица 3.4.2 - Диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

№ рабо т	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	9	■													
2	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер	7		■	▨											
3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	4			▨											
4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель	8			■	■										
5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер	20				▨	▨									
6	Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	Инженер	8						▨	▨							
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер	6							■	▨						
8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель	8								■	■					
9	Разработка принципиальной схемы	Инженер, Руководитель	14									■	▨				
10	Технико-экономические расчеты	Инженер	6											▨			
11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	11												▨		

■ - Инженер; ■ - Руководитель;

Таблица 3.4.3 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	101
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	60
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	41

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

3.5 Цели и результат исследования

Определим заинтересованные стороны и их ожидания, результат сведем в таблицу 3.5.1.

Таблица 3.5.1 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Реализация проекта, получение гранта
Исполнитель проекта	Получение степени бакалавра
НИ ТПУ	Привлечение средств хозяйственных договоров, рост средней оплаты труда, рост рейтинга НИ ТПУ
Предприятия	Рост эффективности производства, качественное техническое обслуживание оборудования

Определим цели и результаты проекта, сведя их в таблицу 3.5.2.

Таблица 3.5.2 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование установки
Ожидаемые результаты проекта:	Готовое изделие и его стабильная работа
Критерии приемки результата проекта:	Исполнение устройством поставленных задач
Требования к результату проекта:	Повышение эффективности демпфирования колебаний, по сравнению с аналогами

Исполнителей и их роли в создании проекта сведем в таблицу 3.5.3.

Таблица 3.5.3 – Рабочая группа проекта

Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
Руководитель проекта	1. Анализ имеющихся технических решений и результатов. 2. Проведение экспериментов	328
Исполнитель проекта	1. Подготовка и проведение экспериментов. 2. Анализ результатов экспериментов. 3. Анализ имеющихся технических решений и результатов.	480
Итого		808

3.6 Бюджет исследовательской работы

При планировании бюджета исследовательской работы должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 17.

3.6.1 Расчет амортизации

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Таблица 3.6.1.1 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Электродвигатель 2.2 кВт	1	10	17500	17500
2	Гидропневмоаккумулятор	2	7	6000	12000
3	Гидронасос аксиально-поршневой	1	7	14500	14500
4	Бак металлический 150 л.	1	10	2000	2000
Итого:					46 тыс. руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot t,$$

где $И$ – итоговая сумма, тыс. руб.; t – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для электродвигателя 2,2 кВт, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Электродвигатель:

$$A = \frac{0,1 \cdot 17500}{12} \cdot 4 = 584 \text{ руб.}$$

Гидропневмоаккумулятор:

$$A = \frac{0,143 \cdot 12000}{12} \cdot 4 = 572 \text{ руб.}$$

Гидронасос аксиально-поршневой:

$$A = \frac{0,143 \cdot 14500}{12} \cdot 4 = 692 \text{ руб.}$$

Бак металлический:

$$A = \frac{0,1 \cdot 2000}{12} \cdot 4 = 67 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 584 + 572 + 692 + 67 = 1915 \text{ руб.}$$

3.6.2 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 3.6.2.1.

Таблица 3.6.2.1 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Карандаш чертежный	3 шт.	22	66
Краска для принтера	1 шт.	600	600
Бумага для принтера А4 (500 листов)	1 шт	200	200
Ручка шариковая	5 шт	30	150
Рукава высокого давления	20 шт. (1 шт- 450 мм)	212	4240
Фильтр напорный	1 шт	6600	6600
Фитинги, крепежи	36 шт.	100	3600
Чугун	70 кг	7	490

Продолжение табл. 3.6.2.1

Стальная плита (сталь 45)	5 кг	47	235
Шарниры	4 шт.	4500	18000
Стальное основание (Сталь 45)	20 кг	47	940
Итого:	35120 руб.		

3.6.3 Специальное оборудование для исследовательских (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 3.6.3.1 – Специальное оборудование для экспериментальных работ

Наименование оборудования	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1. Датчик положения	1 шт.	5000	5000
2. Обратный клапан	2 шт	2000	4000
3. Дроссель	1 шт.	2000	2000
4. Вентиль	4 шт.	450	1800
5. Манометр	2 шт.	500	1000
6. Предохранительный клапан	2 шт.	2000	4000
7. Фильтр напорный	1 шт	6600	6600
Итого	24400		

Т.о., общие затраты на опытный образец составили 59520 руб.

3.6.4 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

При отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{39000 \cdot 11,2}{233} = 1875 \text{ руб.}$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл. 16); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{31200 \cdot 11,2}{270} = 1294 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_t \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 20000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 39000 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_t \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31200 \text{ руб.}$$

где Z_t – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 3.6.4.1 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	56/10	24/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	233	270

Таблица 3.6.4.2 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$Z_{мс}, руб$	k_{np}	k_{∂}	k_p	$Z_m, руб$	$Z_{\partial n}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	20000	0,3	0,2	1,3	39000	1875	38	71250
Инженер	16000	0,3	0,2	1,3	31200	1294	30	38820
Итого:								101100

3.6.5 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 71250 = 10690 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 38820 = 5823 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

3.6.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (71250 + 10690) = 24580 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (38820 + 5823) = 13390 \text{ руб.}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

3.6.7 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$\begin{aligned} З_{накл} &= \left(\frac{\text{сумма статей}}{6} \right) \cdot k_{нр} = \\ &= (46000 + 35120 + 24400 + 101100 + 16510 + 37970) \cdot 0.2 = \\ &= 52220 \text{ руб} \end{aligned}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Таблица 3.6.7.1 – Группировка затрат по статьям

Статьи								
Амортизация	Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
46000	35120	24400	101100	16510	37970	261100	52220	313320

3.7 Определение ресурсоэффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности исследовательской работы получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. Пружинный виброизолятор с демпфером в маятниковом подвесе;
2. Динамический гаситель;

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения исследовательской работы (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{313320}{330000} = 0,95$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{310000}{330000} = 0,94$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{325000}{330000} = 0,99$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

3.7.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффетивности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 3.7.1.1.

Таблица 3.7.1.1 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Бальная оценка системы TDM-M	Бальная оценка системы R1500
1. Безопасность при использовании установки	0,3	5	5	4
2. Стабильность работы	0,3	4	3	5
3. Технические характеристики	0,1	5	3	4
4. Ремонтопригодность	0,2	4	4	3
5. Простота эксплуатации	0,1	5	4	4
Итого:	1	4,5	3,9	4,1

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,5$$

$$I_{p2} = 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 3,9$$

$$I_{p3} = 0,3 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 = 4,1$$

3.7.2 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р-исп.1}}}{I_{\text{финр}}} = \frac{4,5}{0,95} = 4,7$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 3.7.2.1). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} = \frac{4,2}{4,7} = 0,89$$

Таблица 3.7.2.1 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,95	0,94	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,9	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,7	4,2	4,14
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,89	0,88

Выводы по разделу

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 101 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 41 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 60;
3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 313320 руб;
4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:
 - Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,95, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;
 - Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,5, по сравнению с 3,9 и 4,1;
 - Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,7, по сравнению с 4,2 и 4,14, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4А6В	Кузнецову Максиму Алексеевичу

Школа	ИШПНТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Виброгаситель с квазиупругой жесткостью	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Система виброзащиты для демпфирования колебаний.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организованные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны)	- ГОСТ 12.0.003-2015 - ГОСТ 12.1.006-84 - СП 52.13330.2016 - ГОСТ 12. 1.012-90 - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 - ГОСТ 12. 1.003-2014 ССБТ - ГОСТ 12. 1.019-2017 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	- Уровень вибрации - Уровень шума - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Электрический ток - Термический ожог
3. Экологическая безопасность:	- Выбросы химических веществ в атмосферу, гидросферу и литосферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Пожар, Взрыв

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.			12.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4А6В	Кузнецов Максим Алексеевич		12.04.2020

Введение

В данном разделе рассматриваются вредные и опасные факторы, которые влияют на человека и окружающую среду в процессе проектирования, производства и эксплуатации виброгасителя с квазиулевым жесткостью. Также рассматриваются мероприятия по предотвращению и устранению несчастных случаев и чрезвычайных ситуаций, способы снижения вредных воздействий на окружающую среду и человека.

Инженерные разработки должны учитывать требования законодательных и правовых актов, технических регламентов в области безопасности производства, охраны труда и защиты окружающей среды.

В данной работе представлено виброзащитное устройство – виброгаситель с квазиулевым жесткостью. Данное виброзащитное устройство служит для снижения уровня воздействия колебаний на объект виброзащиты. Это позволит обеспечить максимальную неподвижность объекта виброзащиты вдоль вертикального направления, а также под заданным углом. Малые габариты, минимальное количество узлов, высокая степень надежности при работе на резонансном режиме и малая жесткость позволяют устройству эффективнее демпфировать колебания, по сравнению с другими виброзащитными устройствами.

При проектировании, изготовлении и эксплуатации виброзащитного устройства возможно столкновение со множеством опасных работ, с риском получения вреда здоровью человека. Рассмотрим подробнее возможные опасности.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя)

правовые нормы трудового законодательства

Для того, чтобы осуществить практическую деятельность в области обеспечения безопасности жизнедеятельности необходимо соблюдение нормативов и правил ведения соответствующих работ, которые позволяют их обеспечить. В связи с тем, что проектирование устройства виброзащиты – виброгасителя с квазиинулевой жесткостью производится при помощи ЭВМ, необходимо рассмотреть требования к рабочей зоне оператора и самой ЭВМ.

В соответствии с Трудовым Кодексом Российской Федерации работодатель обязан обеспечить нормальные условия для выполнения работниками норм выработки. К таким условиям, в частности, относятся:

- исправное состояние помещений, сооружений, машин, технологической оснастки и оборудования;
- своевременное обеспечение технической и иной необходимой для работы документацией;
- надлежащее качество материалов, инструментов, иных средств и предметов, необходимых для выполнения работы, их своевременное предоставление работнику;
- условия труда, соответствующие требованиям охраны труда и безопасности производства.

В соответствии со статьей «Статья 14 № 426-ФЗ» условия труда при проектировании виброзащитного устройства по классификации класса условий труда - оптимальные. Воздействие неблагоприятных факторов отсутствует и влияния на организм не происходит.

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Помещение, в котором осуществлялось проектирование и исследование виброзащитного устройства – виброгасителя с квазиулевым жесткостью – 207 аудитория 16 А корпуса Национального исследовательского Томского политехнического университета. Режим работы для оператора был установлен в соответствии с Трудовым Кодексом Российской Федерации «ТК РФ Статья 100. Режим рабочего времени», а также в соответствии с режимом работы помещения в котором осуществлялось проектирование. Режим работы: неполная рабочая неделя (понедельник, среда, пятница) время начала работы 13:00, время окончания работы 16:00 каждый рабочий день, без перерывов.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [22] (с изменениями на 21 июня 2016 года) предъявляются нормы к организации рабочей зоны при проектировании виброзащитного устройства – виброгасителя с квазиулевым жесткостью, а именно:

- требования к ПЭВМ;
- требования к помещениям для работы с ПЭВМ;
- требования к микроклимату, содержанию аэроионов и вредных химических веществ в воздухе на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;
- требования к уровням шума и вибрации на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;
- требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;
- требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ;
- требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ для обучающихся в общеобразовательных учреждениях и учреждениях начального и высшего профессионального образования.

Для осуществления работы оператора рабочая зона с ПЭВМ организуется в соответствии СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [22]. При анализе помещения для проектирования выявлено:

- помещение с ПЭВМ оборудовано системой отопления;
- пол в помещении с ПЭВМ ровный, без выбоин, нескользкий;
- ширина стола на котором располагается ПЭВМ 750 мм, а глубина – больше 550 мм;
- угол сиденья в помещении не регулируется, угол наклона спинки в вертикальной плоскости составляет около 30 градусов;
- провода электропитания и кабель локальной сети находятся в стояке, основание которого совмещено с подставкой для ног;

Таким образом полученные результаты можно считать подходящими для проведения работ оператором в рассматриваемой аудитории с целью проектирования виброзащитного устройства – виброгасителя с квазинулевой жесткостью.

4.2 Производственная безопасность

В данном пункте осуществлен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении или эксплуатации проектируемого устройства виброзащиты – виброгасителя с квазинулевой жесткостью. Они могут возникнуть в процессе проведения исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого оборудования. Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [23]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 4.2.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) [23]	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо- тка	Изготов -ление	Эксплуа т-ация	
1.Повышенный уровень вибрации		+	+	ГОСТ 12.1.012 – 90 ССБТ. Вибрационная болезнь.
2.Превышение уровня шума		+	+	Общие требования. [24]
3.Неправильная освещенность рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014. «Шум. Общие требования безопасности.» [25]
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [26] ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность.
5. Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов		+		Общие требования и номенклатура видов защиты. [27] ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.[28]

1.Повышенный уровень вибрации

а) При изготовлении

При изготовлении не стандартных деталей конструкции, возникает вибрация, которая появляется в процессе работы производственного оборудования, такого как: токарный, фрезерный, шлифовальный станки и станок с ЧПУ.

При достаточно долгом действии общей вибрации возникают механические повреждения тканей, а также органов человеческого организма.

В соответствии с ГОСТ 12.1.012-90 [24], амплитуда вибрации в помещении должна составлять не более $0,0072 \cdot 10^{-3}$ м при частотах от 31,5 Гц до 63 Гц. На производстве станки работают в диапазонах близких к 60 Гц. Соответственно, не возникает пагубного влияния на организм человека.

Для того, чтобы снизить уровень вибрации до требуемого уровня используются методы защиты оператора от вибрации. Существуют следующие методы, такие как: правильное размещение специального оборудования устройства и оптимальные режимы работы установки.

Чтобы снизить уровень вибрации в цехе, необходимо своевременно осуществлять ремонт оборудования и вовремя смазывать трущиеся поверхности деталей. При работе с оборудованием используются индивидуальные средства защиты: обувь с амортизирующими подошвами, рукавицы и перчатки с мягкими наладонниками.

б) При эксплуатации

Вибрации исходящие со стороны механизмов, машин или оборудования также оказывает негативное влияние на человека, находящегося в зоне распространения вибрации.

Устройство исследуемой виброзащитной системы предполагает наличие дистанционной системы управления, для исключения вреда здоровью оператору достаточно оставаться за пределами распространения вибрации, которая возникает в процессе работы устройства.

2. Повышенный уровень шума

Во время эксплуатации оборудование является источником шума. При изготовлении деталей для виброзащитного устройства необходимо предусмотреть, чтобы уровень шума в цехе не превышал допустимого уровня. Все это необходимо для того, чтобы предотвратить вредное влияние шума на организм человека. Повышенный уровень шума приводит к быстрой утомляемости человека и является общебиологическим раздражителем. В последствии продолжительного влияния шума падает производительность физического труда на 10%, а умственного – более чем на 40%.

Известно, что исследования виброзащитных устройств сопровождаются повышенным уровнем шума. Но, предполагается, что шум возникающий от проектируемого виброгасителя с квази нулевой жесткостью не превышает требуемого уровня, к тому же является кратковременным.

По ГОСТ 23337 – 2014 [25] максимально допустимый уровень шума в цехе не должен превышать 80 дБ (широкополосный шум). Общий уровень шума измеряется в пределах 65 дБ. Данный показатель уровня шума соответствует допустимому.

В соответствии с ГОСТ 23337 – 2014 [25] при разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочих мест необходимо обеспечить меры по снижению уровня шума, воздействующего на человека, до требуемого уровня, не превышающего допустимого.

Существуют следующие методы и средства коллективной защиты, которые подразделяются в зависимости от способа реализации на строительно-акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические и включают в себя:

- изменение направленности излучения шума;
- рациональную планировку предприятий и производственных помещений;

- применение звукоизоляции;

3. Неправильная освещенность рабочей зоны

В соответствии с СП 52.13330.2016 [26] неправильная освещенность рабочей зоны относится к вредным производственным факторам, который быстро утомляет человека и снижает его работоспособность. Утомляемость человека может возникать из-за чрезмерной или недостаточной освещенности, а также из-за неправильного направления света.

В дневное время достигается нормальная освещенность за счет естественного света, который проникает через окна, а в утреннее и вечернее время нормальная освещенность достигается за счет искусственного освещения – лампами.

Освещение должно обеспечиваться непрерывное и равномерное, а также иметь правильное направление светового потока, необходимо исключать ослепляющее воздействие света.

Процесс проектирования виброгасителя с квазинулевой жесткостью осуществлялся в помещении – 207 аудитории 16 А корпуса Томского Политехнического Университета. В данном помещении имеются два дверных проема для освещения аудитории в дневное время суток, их общая площадь составляет 6 м². В утреннее и вечернее время суток для обеспечения необходимого освещения установлено 6 люминесцентных светильников с зеркальной отражающей решеткой.

Такое освещение обеспечивает безопасную рабочую зону для здоровья сотрудников, так как входит в допустимое значение освещенности рабочей зоны.

4. Опасность получения удара электрическим током

В связи с тем, что в исследуемом виброзащитном устройстве имеется такой элемент, как электрический двигатель, то в процессе эксплуатации виброзащитного устройства оператор может получить удар электрическим током. Удар электрическим током может привести к летальному исходу.

Во время эксплуатации самого виброзащитного устройства вероятность получения удара электрическим током очень мала, но нельзя исключать чрезвычайные ситуации. Поэтому важно, чтобы оператор соблюдал правила электробезопасности.

Для того, чтобы исключить возникновения поражения электрическим током, в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 2017 [27] рекомендуется проводить организационные мероприятия, такие как:

- произвести изолирование токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- производить технический осмотр оборудования;
- соблюдение условий эксплуатации, а также сборки и установки оборудования согласно конструкторской документации;
- произвести установку защитного заземления;
- оснастка помещения всеми необходимыми предписанию нормами для электробезопасности;
- проводить инструктаж по технике безопасности персоналу, работающему с оборудованием;
- обеспечение свободного прохода;
- использовать плавкие предохранители и автоматические выключатели для защиты от КЗ;
- обучение мероприятиям по работе с электрическими приборами.

5. Возможна опасная ситуация получения термического ожога.

В связи с тем, что в данном устройстве имеются сварные узлы, необходимо учесть возможность получения термического ожога. Из-за несоблюдения техники безопасности увеличивается вероятность получения серьезных повреждений тканей человеческого организма. Как следствие сильный термический ожог может стать причиной летального исхода.

Требования по безопасности согласно ГОСТ 12.2.003-91 [28].

Для того, чтобы обеспечить безопасные условия труда, необходимо использовать жаропрочные рукавицы или краги, а также жаропрочный фартук и сварочный шлем.

4.3 Экологическая безопасность

В нашем мире защита окружающей среды является одной из приоритетных задач. Огромное количество бытовых отходов, а также выбросов предприятий на данный момент составляет значительный объем. Следовательно, чтобы уменьшить количество бытовых отходов и выбросов предприятий необходимо отказаться от старых методов производства и перейти на безотходное производство.

В данном устройстве для снижения уровня вибрации часть деталей сделана из цветного или черного металла. Данные материалы при очистке и переплавке приобретают свойства первичного сырья, в связи с этим они востребованы в промышленности.

В процессе работы разработанное устройство воздействует на атмосферу. Но в процессе испарения смазывающей жидкости при эксплуатации или хранении происходит незначительное выделение синтетических масел. При этом когда данное попадает в атмосферу, образуются токсичные соединения. Также при испарении в атмосферу попадают тяжелые металлы, распространяющиеся по воздуху и вступающие в химические реакции с различными элементами. Данный процесс создает угрозу живым организмам.

Чтобы защитить окружающую среду от разлива масла, а также от испарения смазывающей жидкости, необходимо устанавливать специальные герметические конструкции, позволяющие снизить распространение загрязнения. Следовательно, все химические процессы будут происходить внутри.

На литосферу устройство практически не оказывает вибрационного воздействия, так как является виброзащитным устройством. Однако если

принять во внимание, что малая часть колебаний все-таки передается через виброзащитное устройство на литосферу, то со временем наиболее чувствительные к сотрясению рыхлые неуплотненные слои почвы начнут смещаться и уплотняться. При этом структурные связи почвы нарушаются и, вероятно, внезапное разжижение и образование оползней и отвалов.

Живые организмы в процессе воздействия источника колебаний на виброзащитное устройство так же получают негативное вибрационное и шумовое воздействие, что может заставлять животных покидать места привычного обитания на период эксплуатации источника колебаний. Но, после завершения эксплуатации источника колебаний в случае сохранения прежней экологической среды животные, возможно, вернуться в места обитания, сохраняя при этом равновесие природной зоны.

Чтобы существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду необходимо максимально снизить время проводимых работ, амплитуду и частоту колебаний источника.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В процессе проектирования, а также изготовления виброзащитного устройства возможны следующие чрезвычайные ситуации: возникновение пожара, взрыв в гидросистеме из-за повышения давления. Возгорание виброзащитного устройства практически невозможно, но возникновение пожара в помещении, в котором осуществлялось проектирование, вполне возможно в связи со следующими факторами: возникновение короткого замыкания в электропроводке из-за неисправности самой проводки или электросоединений и электrorаспределительных щитов.

Поскольку в разрабатываемом виброзащитном устройстве имеется пневмосистема, компонентом которой является гидропневмоаккумулятор, при эксплуатации и изготовлении возможен взрыв. Взрыв возникнет в случае

небезопасного обращения с огнем и утечки газа (азота) из гидропневмоаккумулятора.

Чтобы защитить жизнь и здоровье человека от пожара и взрыва необходимо выполнять необходимые профилактические мероприятия, направленные на предупреждение или устранение пожара и взрыва.

Для исключения возможности возникновения пожара и взрыва, рекомендуется проводить следующие организационные мероприятия:

- обязательное соблюдение всех правил технической эксплуатации виброзащитного устройства;
- проверка наличия и исправности первичных средств пожаротушения;
- прохождение противопожарного инструктажа.

В случае возникновения пожароопасной и взрывоопасной ситуации, прежде всего, необходимо вызвать пожарную команду, обеспечить полную эвакуацию людей из помещения, где возник пожар или взрыв, и принять меры по ликвидации пожара при помощи первичных средств пожаротушения. В случае неисправности виброзащитного устройства или аварии необходимо устранить неполадки самостоятельно, либо вызвать соответствующие службы.

Выводы по разделу

В результате выполнения анализа вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации виброзащитного устройства, а также во время его проектирования, были выявлены характерные чрезвычайные ситуации, а также меры по их устранению. Данные исследования, проведенные в рассматриваемом разделе, могут быть использованы в реальных условиях проектирования, изготовления и эксплуатации виброзащитного устройства.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был исследован виброгаситель с квазиулевым жесткостью согласно заданиям конструкторского, технологического раздела, а также разделов финансового менеджмента и социальной ответственности.

В конструкторской части были рассмотрены различные виброзащитные системы, их конструкция, расчет параметров и принцип работы. Рассматривая эти системы были обнаружены следующие недостатки большие габариты системы, малый диапазон частот гасимых колебаний, большое количество узлов и деталей системы, а также малая степень надежности на резонансном режиме. Предлагаемая система устраняет эти недостатки, так как имеет нелинейную жесткость. Это позволяет гасить широкий диапазон колебаний. На основании изученного материала составлена гидравлическая схема управления виброзащитным устройством. Создана 3D модель виброгасителя с квазиулевым жесткостью и приведены графики зависимостей величин.

При выполнении технологической части данная деталь типа «корпус» была исследована на технологичность, после чего был составлен технологический маршрут обработки детали, составлены размерная схема, граф-дерево, карта наладки, расчетно-технологическая карта, проведен расчет всех технологических размеров на обработку детали, рассчитаны режимы резания, подобрано оборудование и произведено нормирование.

При выполнении раздела финансового менеджмента был произведен анализ конкурентоспособности проекта, произведено планирование. Также рассчитан бюджет на реализацию проекта, который составил 313320 рублей. Выявлена эффективность реализации проекта.

При выполнении раздела социальной ответственности были рассмотрены возможные опасные и вредные факторы при проектировании, изготовлении и эксплуатации виброгасителя с квазиулевым жесткостью, а также приведены меры по их устранению или предотвращению.

Список литературы:

1.Сборник трудов XVI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых [Электронный курс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37529313> (дата обращения 07.03.20)

2.Сравнительный анализ виброзащитных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vibro-lab.ru/sravnit-vibroizolyatori> (дата обращения 22.03.2020).

3.Патент 2016129224 Российская Федерация, МПК F16F 15/00.

Пружинный виброизолятор с маятниковым подвесом / Кочетов О. С.; заявитель и патентообладатель Московская обл., г. Фрязино, ул. Горького, 2, кв. 193. – опубл. 23.01.2018 Бюл. № 03 – 2 с.

4.Патент 2101581 Российская Федерация, МПК F16F15/02.

Динамический гаситель / Кузьмин Э.Н.; Аникеев А.В.; Жиганов П.Г.; патентообладатель Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно - исследовательский институт технической физики, опубл. 10.01.1998

5.Патент 2624120 Российская Федерация, МПК F16F 15/00(2006.01).

Виброизолятор технологического оборудования/ Кочетов О. С.; заявитель и патентообладатель Московская обл., г. Фрязино, ул. Горького, 2, кв. 193. – опубл. 2006.07.10.

6.Патент 2578299 Российская Федерация, МПК B25D 17/24(2016.03), B25D 17/04(2016.03),B25F 5/02(2016.03).

Виброзащитная рукоятка обойного молотка / Патентообладатели Исмагилов Марсель Рафитович (RU), Зотов Алексей Николаевич (RU),ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "РЕМСЕРВИС" (RU), опубл. 27.03.2016.

7.Скворцов В.Ф. Основы размерного анализа технологических процессов изготовления деталей. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2006. – 100 с.

8. "Марочник сталей и сплавов" Под общ. ред. А.С.Зубченко 2-е издание доп. и испр. М.: Машиностроение 2003г. 784 стр. с ил.

9.Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х томах. Т. 2/Под ред. А. Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.

10.Общемашиностроительные нормативы времени и режимы резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением: справочник / Центральное бюро нормативов комитета СССР по труду и социальным вопросам – М.:Экономика, 1990. – 207 с.

11.Анализ технологичности детали. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://megaobuchalka.ru/7/36979.html>

12.Проектирование и расчет станочных и контрольно-измерительных приспособлений в курсовых и дипломных проектах: учеб. пособие / И.Н. Аверьянов, А. Н. Болотеин, М. А. Прокофьев – Рыбинск : РГАТА, 2010. – 220 с.

13.Атаманов С.А. Выбор средств измерения и контроля размеров в машиностроении: учеб, пособие / С.А.Атаманов, В. Ф. Гнидо, И.Г. Панков. – Рязань : РИ (ф) МГОУ, 2012.

14.Рогов В.А. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / В.А. Рогов. – 2-е изд., испр. и доп., 2016.

15.Сысоев С.К. Технология машиностроения. Проектирования технологических процессов : учеб. пособие / С.К. Сысоев, А.С. Сысоева, В.А. Левко. – СПб.: Лань. 2011.

16.Схиртладзе А.Г. Резание материалов. Режущий инструмент : учебник для академического бакалавриата / А.Г. Схиртладзе [и др.]; под общ. Ред. Н.А. Чемборисова., 2016.

17.Маталин А.А. Технология машиностроения : учебник для вузов / А.А. Маталин – 3-е изд., стер. – СПб : Лань. 2010.

18. Виханский, Олег Самуилович. Менеджмент: учебник / О.С. Виханский, А. И. Наумов. – 5-е изд., стер., - Москва: Магистр Инфра – М, 2012. – 576 с.
19. Герчикова, Ирина Никоновна. Менеджмент: учебник для вузов / И.Н. Герчикова. – 4-е изд., перераб. и доп.. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2014. – 511 с.
20. Мескон, Майкл. Основы менеджмента: пер. с англ.: учебное пособие / М.Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – 3-е изд. – Москва: Вильямс, 2008. – 666 с.
21. Друкер, Питер Ф.. Практика менеджмента: пер с англ. / П.Ф.Друкер. – Москва: Вильямс 2002. – 398 с.
22. СанПиН 2.2.2/2.2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901865498>
23. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071>
24. ГОСТ 12.1.012 – 90 ССБТ Вибрационная болезнь. Общие требования. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200059881>
25. ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности.» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200118606>
26. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197>
27. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200161238>

28. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901702428>

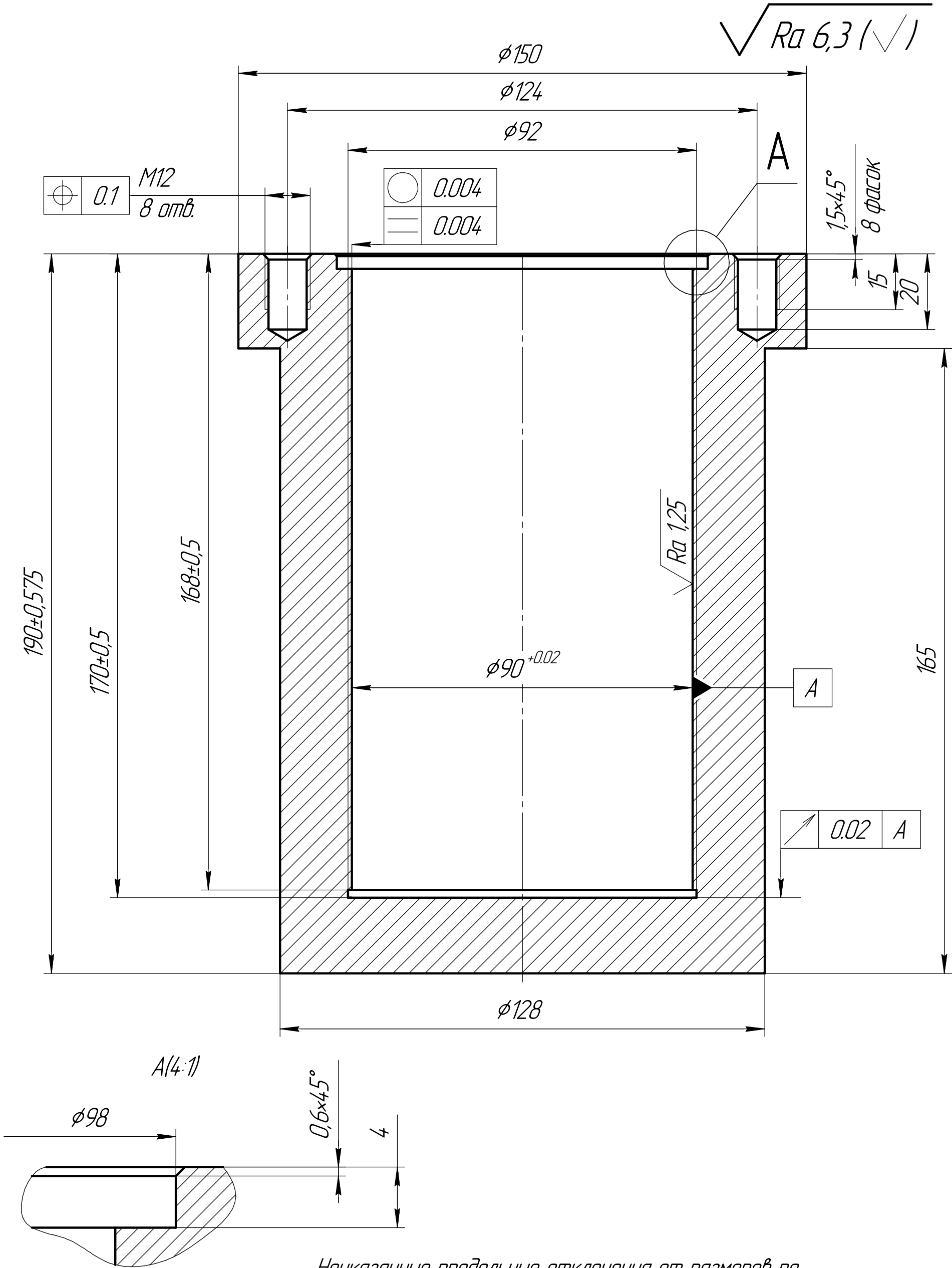
Приложения

Приложение А – Схема гидравлическая



Приложение Б –Чертеж детали «корпус»

Изм. № подл.		Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № докл.	Подп. и дата
Спраб. №					Перв. примен.



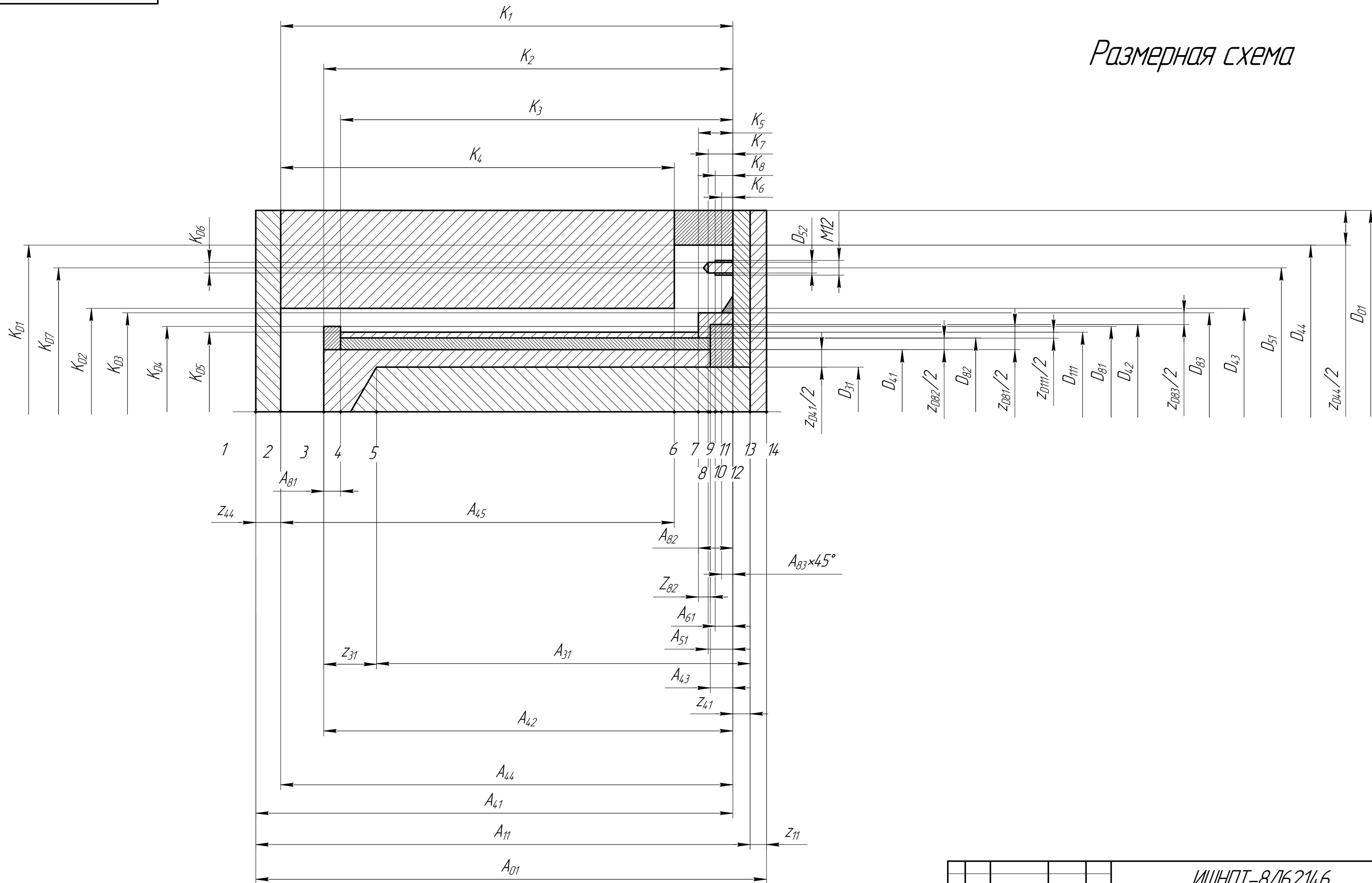
Неуказанные предельные отклонения от размеров по
ГОСТ 25670 Н14, h14, $\frac{IT14}{2}$

					ИШНПТ-8/162146.00.00.01				
					Корпус	Лит.		Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					1:1
Разраб.	Кузнецов М.А.								
Пров.	Кувшинов К.А.								
Т.контр.									
						Лист		Листов 1	
Н.контр.					Сталь 38ХНЗМА ГОСТ 4543-71	ТПУ ИШНПТ			
Утв.						Гр. 4А6В			

ИШНПТ-8/162146.00.00.01

Приложение В – Размерная схема

Размерная схема



ИШНПТ-8/62146						Размерная схема		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Кизнецов М.А.					У		1:1
Проб.	Кизнецов К.А.					Лист	Листов	1
Т.контр.						ТПУ ИШНПТ Гр. 4А6В		
Н.контр.						Копировал		
Утв.						Формат А2		

Приложение Г – Граф дерево

ИШНПТ-8/62146

Перв. примен.

Справ. №

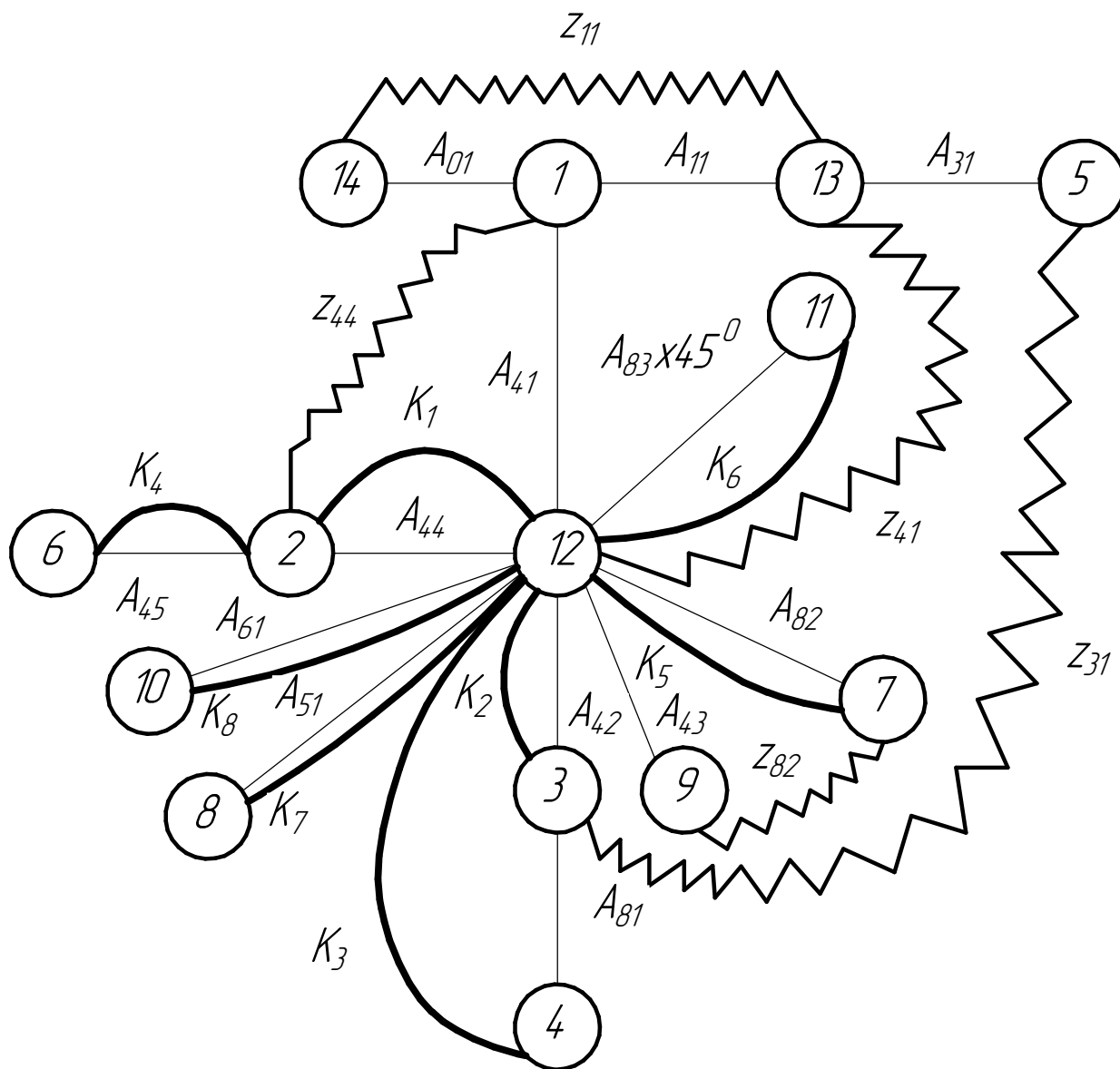
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



ИШНПТ-8/62146

Граф дерева

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1
ТПУ ИШНПТ		
Гр. 4А6В		

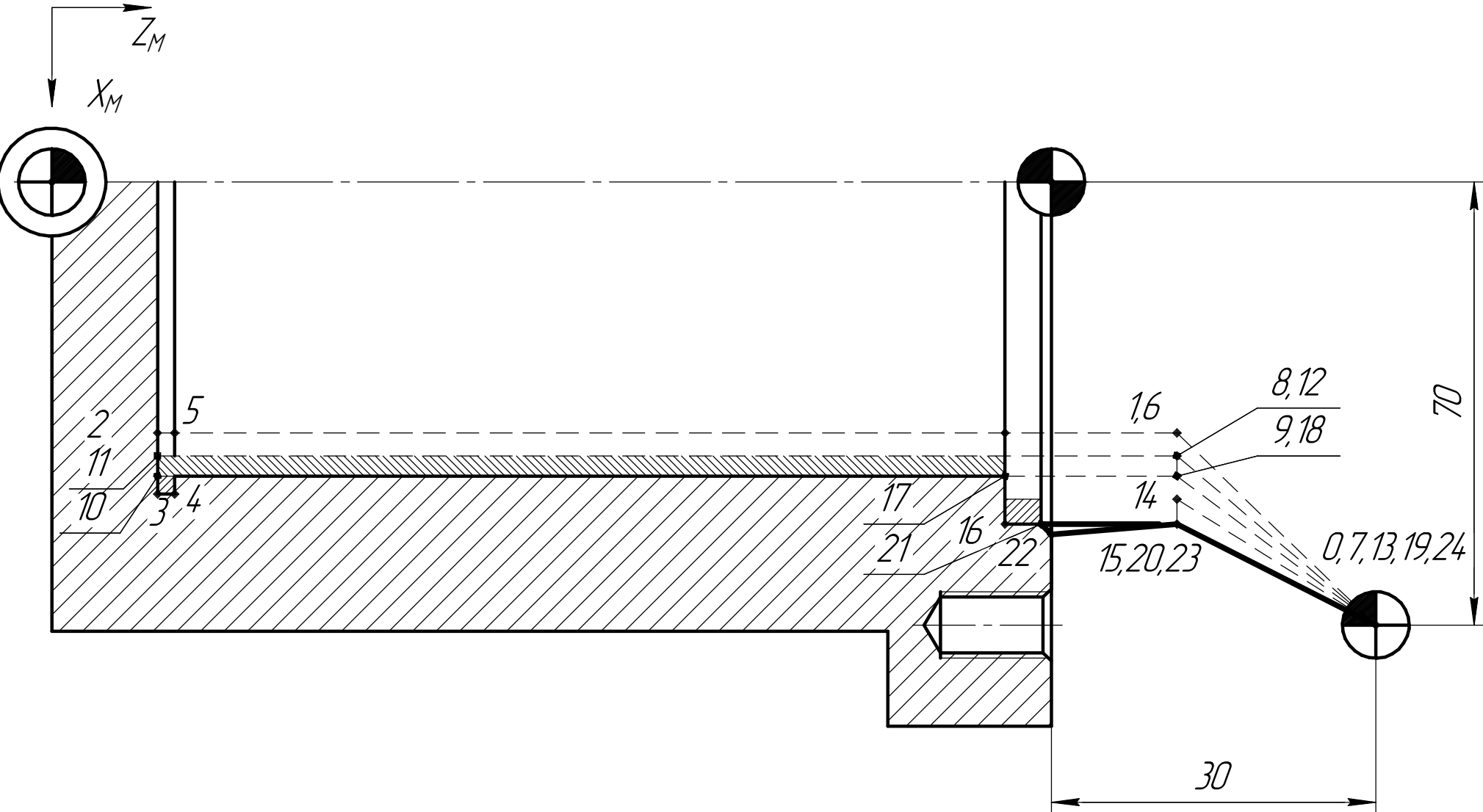
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кузнецов М.А.		
Пров.		Кувшинов К.А.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Копировал

Формат А4

Приложение Д – Расчетно-технологическая карта

ИШНПТ-8/62146



- 0 — Ноль станка
- 0 — Ноль детали
- 0 — Ноль инструмента
- Снятый припуск
- — — — — ПИ1
- — — — — ПИ2

Координаты опорных точек траектории инструмента				
Инстр	№	X, мм	Z, мм	S, мм/мин
ПИ1	0	70	30	0
	1	43,5	5	ускоренная
	2	43,5	-170	ускоренная
	3	46,005	-170	1,2
	4	46,005	-168,185	1,2
	5	43,5	-168,185	ускоренная
	6	43,5	5	ускоренная
	7	70	30	ускоренная
	8	44,525	5	ускоренная
	9	44,9	5	1,5
	10	44,9	-170	1,5
	11	44,525	-170	ускоренная
	12	44,525	5	ускоренная
	13	70	30	ускоренная
	14	48,843	5	ускоренная
	15	49,005	5	1,5
	16	49,005	-4	1,5
	17	44,9	-4	ускоренная
	18	44,9	5	ускоренная
ПИ2	19	70	30	ускоренная
	20	49,005	5	ускоренная
	21	49,005	-0,42	1,0
	22	49,425	0	1,0
	23	49,005	5	ускоренная
	24	70	30	ускоренная

					ИШНПТ-8/62146				
					Расчетно-технологическая карта	Лит.		Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					1:1
Разраб.		Кузнецов М.А.							
Пров.		Кувшинов К.А.							
Т.контр.									
						Лист		Листов	1
Н.контр.						ТПУ ИШНПТ			
Утв.						Гр. 4А6В			

Копировал

Приложение Е – Карта наладки

ИШНПТ-8/62146

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

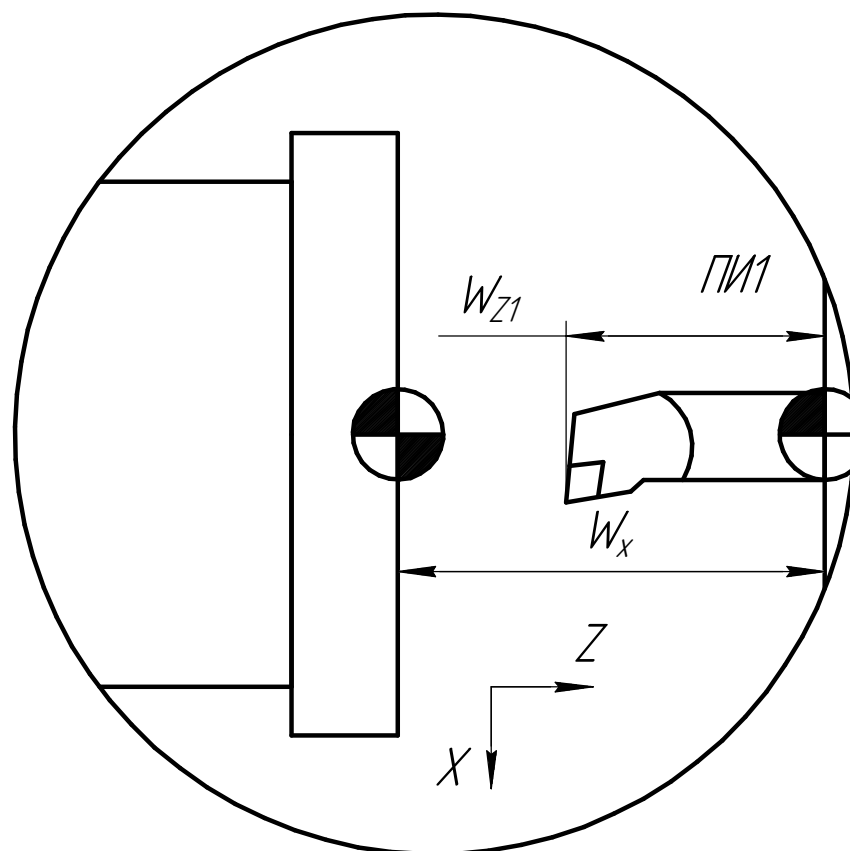
Инд. № дюрл.

Взам. инд. №

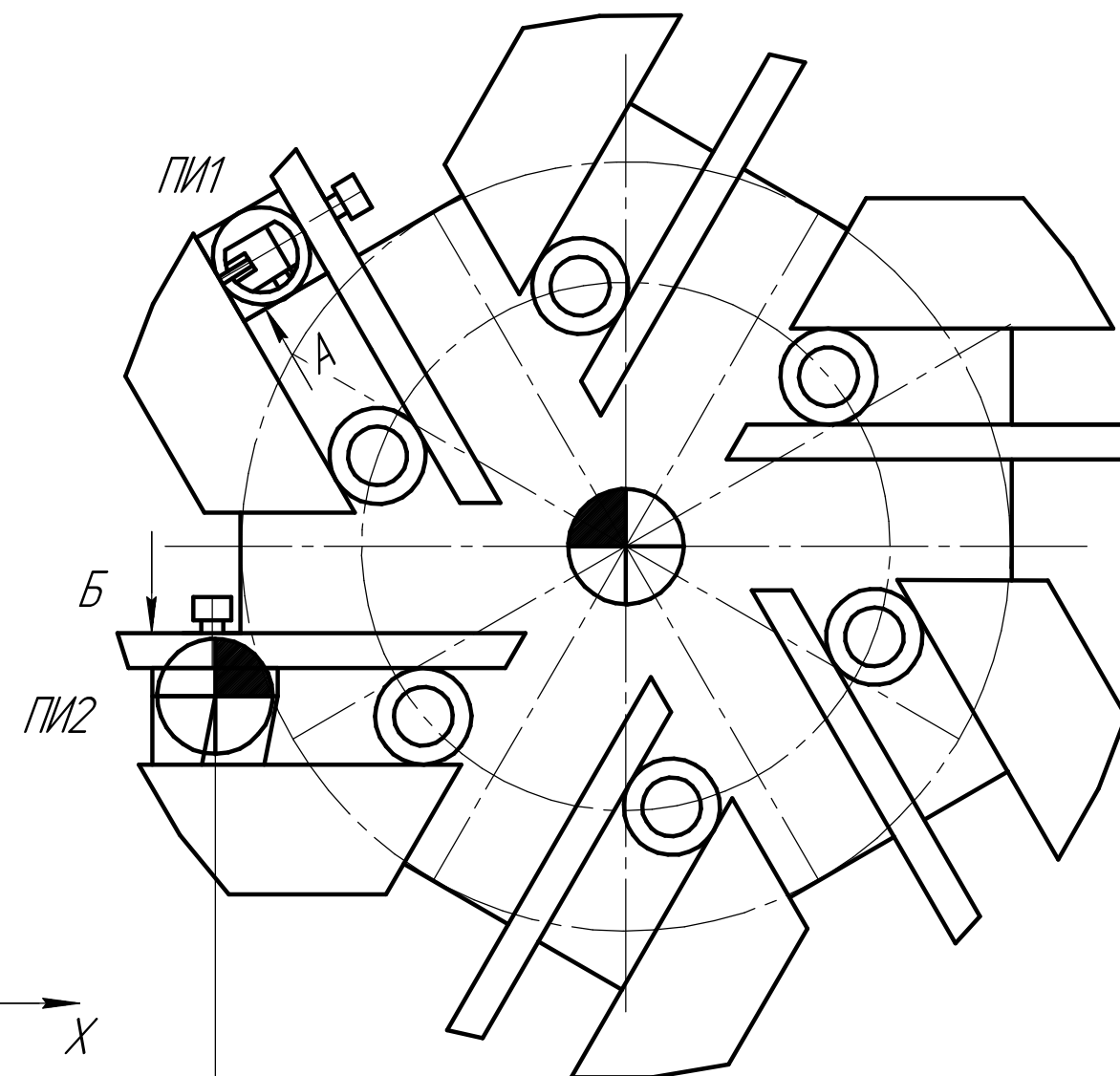
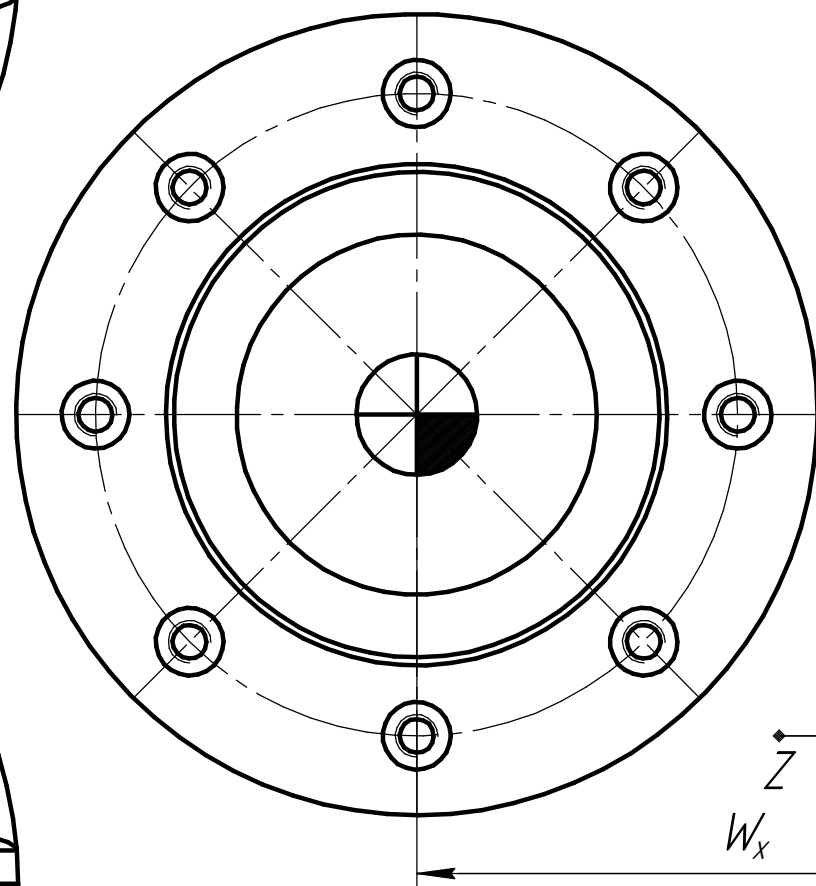
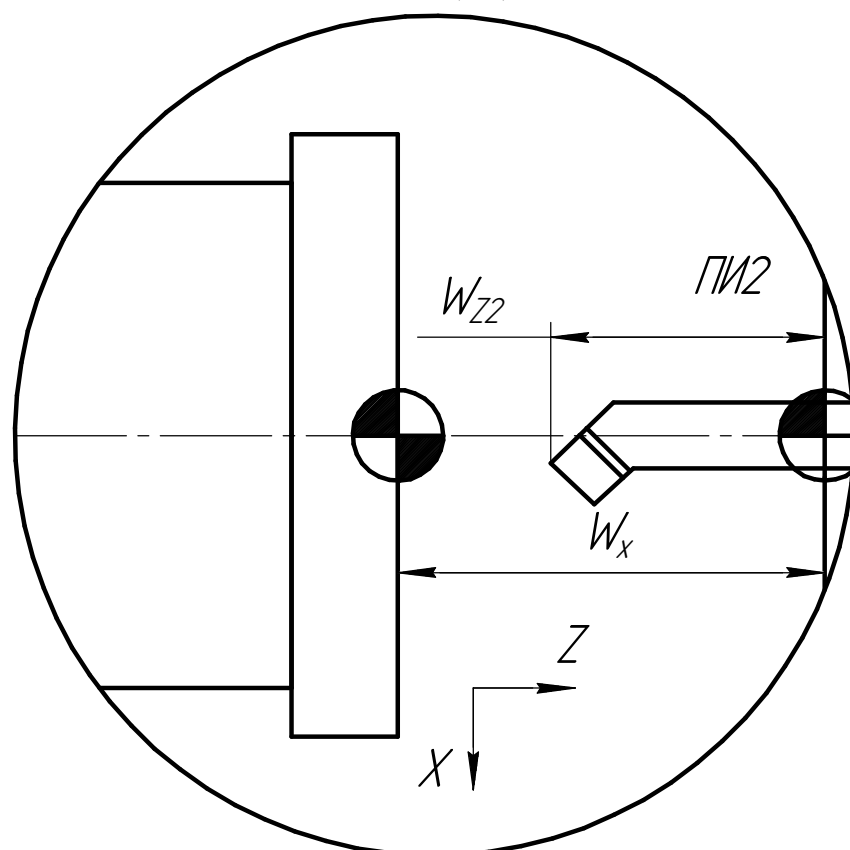
Подп. и дата

Инд. № подл.

A (1:1)



Б (1:1)



-  - Ноль детали
-  - Ноль приспособления
-  - Ноль инструмента

W_x - Расстояние от нуля инструмента до нуля детали
 W_{z1z2} - Вылет инструмента

					ИШНПТ-8/62146				
					Карта наладки	Лит.	Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				1:1	
Разраб.		Кузнецов М.А.							
Пров.		Кубшинов К.А.							
Т.контр.									
						Лист	Листов	1	
Н.контр.						ТПУ ИШНПТ			
Утв.						Гр. 4А6В			

Копировал

Формат А3